

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
КАФЕДРА СИСТЕМОТЕХНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

*«Система управління технологічного процесу приготування  
нітраційної кислотної суміші»*

Керівник роботи

А.Г. Серяков

Виконав:

студент групи СУ-61Ш

А.А. Колотуша

Шостка – 2020

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ ТП-автоматизована система управління технологічним процесом.

ПЧ-перетворювач частоти.

ОУ-об'єкт управління.

ОР-об'єктом регулювання.

ПЛК-програмований логічний контролер.

ТП-технологічний процес.

ПК-персональний комп'ютер.

SCADA-система (аббр. від англ. Supervisory Control And Data Acquisition) - система диспетчерського управління та збору даних.

НКС-нітраційна кислотна суміш.

ТЕП-техніко-економічні показники.

					СУЗ-51Ш 6.151.00.01.06.ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## ВВЕДЕННЯ

Обмежені можливості людського організму (втома, недостатня швидкість реакції на зміну навколишнього оточення і велика кількість інформації, яка одночасно надходить, суб'єкт-ність в оцінці обстановки і т. д.) є перешкодою для подальшої інтенсифікації виробництва. Настає новий етап машинного виробництва, коли людина звільняється від безпосередньої участі у виробництві, а функції управління технологічними і виробничими процесами передаються автоматичним пристроям. Автоматизація виробництва - оснащення підприємства технічними засобами, які дозволяють одночасно виконувати роботу на всіх виробничих етапах, від приготування сировини до контролю і перевірки готових виробів. Автоматизація може бути проведена повна, комплексна чи часткова, коли людська праця тісно взаємопов'язані з машинами.

Повна автоматизація передбачає впровадження технічного обладнання та автоматичні системи управління, здатний повністю здійснювати і контролювати всі процеси виробництва на підприємство без участі людей. Доцільний даний метод для стабільних, великих заводів, на яких є чітко налагоджений, незмінний механізм виконання послідовних операцій, або ж для роботи в шкідливих для людини умовах.

Комплексна автоматизація проводиться в межах заводу, цеху чи іншого структурного підрозділу і охоплює всі виробничі етапи, залишаючи людині лише організацію роботи і контроль над технікою.

Часткова автоматизація, як правило, здійснюється без зупинки основних виробничих потужностей, тому що являє собою заміну дрібних технічних одиниць, що виконують однотипні нескладні операції.

Правильно і ефективно проведена промислова автоматизація дозволяє вирішити такі завдання:

- підвищити рівень безпеки;
- поліпшити якість продукції, що випускається;
- підвищити продуктивність праці;
- зробити роботу підприємства більш ефективною.

					СУЗ-51Ш 6.151.00.01.06.ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Автоматизація технологічних процесів і виробництв дозволяє заощадити багато часу на контролі виробництва. Завдяки цьому роботу людини можна перемістити в сторону аналітичної діяльності та на обслуговування автоматичних систем.

У хімічній промисловості питанням автоматизації приділяється особлива увага. Це пояснюється складністю і великою швидкістю протікання технологічних процесів, високою чутливістю їх до порушення режиму, шкідливістю умов роботи, вибухо- і пожежонебезпекою речовин, що переробляються.

Завданням цієї роботи є вирішення питань пов'язаних з покращенням існуючої системи керування. Модернізація процесу здійснюватиметься з урахуванням специфічних властивостей технології виробництва нітробензолу, необхідності спрощення керування, збільшення стійкості процесів до зовнішніх збурень. Робота виконується на підставі завдання кафедри системотехніки та інформаційних технологій Шосткинського інституту СумДУ.

# 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

## 1.1 Опис технологічного процесу

Приготування нітраційної кислотної суміші є однією з основних операцій виготовлення нітробензолу (рис. 1.1)

Нітраційна кислотна суміш (НКС) готується з концентрованої азотної, сірчаної кислоти та води у вигляді конденсату або звичайної питної. Для нітрування бензолу використовують НКС складу:

- сірчана кислота-58-60%;
- азотна кислота-30-32%;
- вода-8-10%.

Приготування нітраційної кислотної суміші здійснюється в реакторі зі змішувачем та сорочкою для охолодження.

«У реактор з ємності для сірчаної кислоти закачують розрахований обсяг концентрованої кислоти (витрата дорівнює 4 м<sup>3</sup>/год), потім з ємності для азотної кислоти подають концентровану азотну кислоту (витрата дорівнює 2 м<sup>3</sup>/год), після цього з резервуара в реактор перекачують воду до досягнення рівня 1,35 м.потім включають мішалку і подають холодну воду в сорочку реактора під тиском 0,3 МПа.» [1]

НКС перемішують 30-40 хвилин.

Подачу кислот здійснюють таким чином, щоб температура в реакторі була в межах 15-20°C.

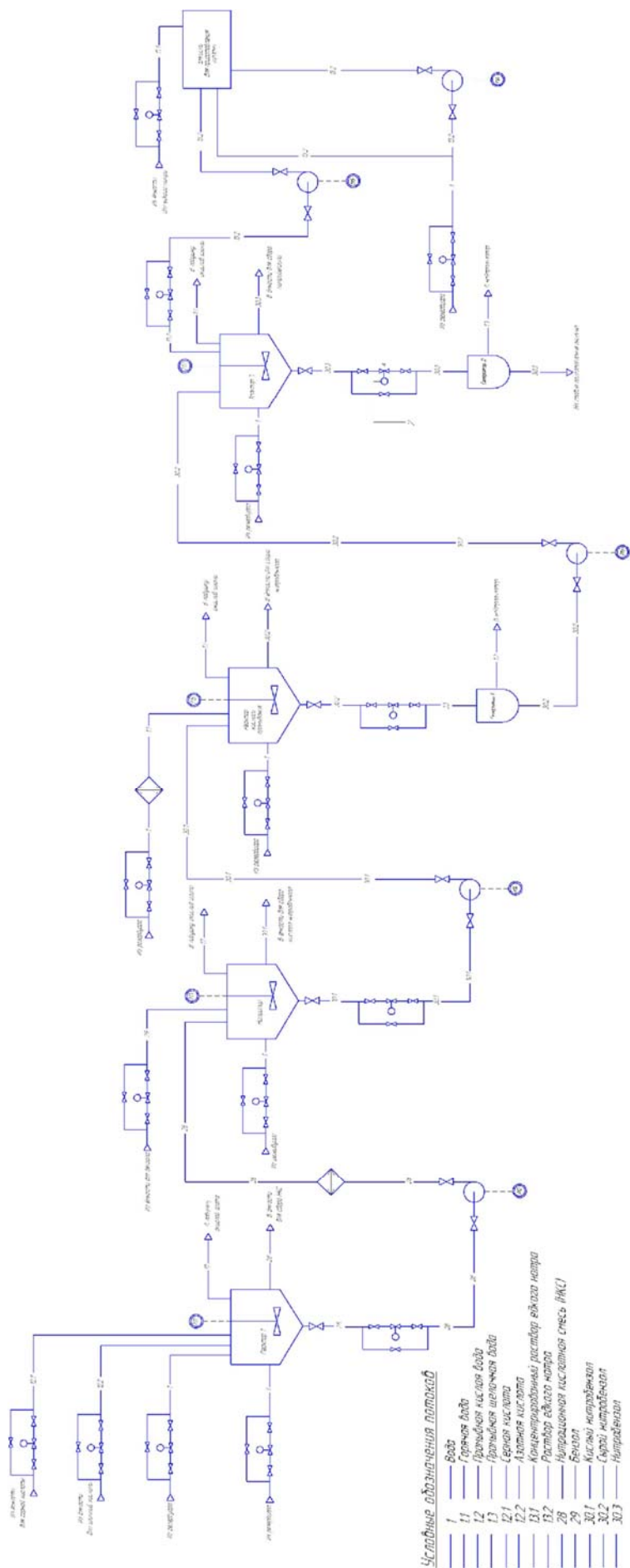


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва нітробензолу

Кондиційний НКС з реактора подають насосом через теплообмінник в нітратор для операції нітрування. Температура НКС на виході з теплообмінника повинна бути в межах 45-50°C.

Після закачування НКС в нітратор подається бензол з ємності для бензолу.

Після заповнення ємності включається електродвигун змішувача, при цьому відкривається клапан на лінії подачі води в сорочку нітратора під тиском 0,28 МПа. НКС і бензол перемішують протягом 100-120 хвилин. Подачу компонентів в нітратор і холодної води в сорочку нітратора здійснюють таким чином, щоб температура в нітраторі була в межах 15-20 ° С.

Нітробензол з нітратора надходить на стадію кислого промивання.

Для відділення мінеральних кислот з кислого нітробензолу, його промивають окропом.

У реактор кислого промивання подають воду, попередньо підігріту в теплообміннику до 35-40°C. при досягненні заданого рівня (2 м) в реакторі кислого промивання автоматично закривається клапан на лінії наповнення і подача води припиняється. Потім з нітратора відцентровим насосом в реактор кислого промивання подається кислий нітробензол. Змішувач перемішує масу при температурі 35-40°C протягом 30 хвилин. Необхідна температура підтримується автоматично подачею гарячої води в сорочку реактора кислого промивання під тиском 0,3 МПа. Далі суміш самопливом надходить в сепаратор 1, де нітробензол відділяється від промивної кислої води. Сирий нітробензол з сепаратора 1 надходить на стадію лужного промивання за допомогою їдкого натру.

Приготування 2-5% розчину їдкого натру здійснюють шляхом розведення 43-45% розчину до 2-5% в ємності для приготування лугу. Концентрований розчин лугу надходить в ємність для концентрованого лугу. При досягненні рівня 0,8 м в ємності, закривається клапан на лінії наповнення і, подача розчину припиняється. У ємність для приготування лугу з мережі додають розраховану кількість води.

З ємності для приготування лугу відцентровим насосом закачують ро-

					СУЗ-51Ш 6.151.00.01.06.ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

зрахункову кількість розчину їдкого натру в реактор лужного промивання. Кількість розчину лугу залежить від загальної кислотності нітробензолу. Сирий нітробензол з сепаратора 1 відцентровим насосом перекачується в реактор лужного промивання, при досягненні задано-го рівня (1,5 м) закривається клапан на лінії наповнення і подачі сирого нітробензолу припиняється. Чи включається мішалка і перемішує масу при температурі 35-40°C півгодини. Необхідна температура підтримується подачею гарячої води в сорочку реактора лужного промивання під тиском 0,31 МПа (модуль приблизно ра-вен 1: 2 при використанні 3% розчину їдкого натру). Далі суміш самопливом надходить в сепаратор 2, де нітробензол відділяється від промивної лужної води. Промитий нітробензол з сепаратора 2 надходить на стадію виготовлення аніліну.

## 1.2 Схема інформаційно-матеріальних потоків

На підставі ТП складемо схему руху матеріальних потоків, яка представлена на малюнку 1.2.

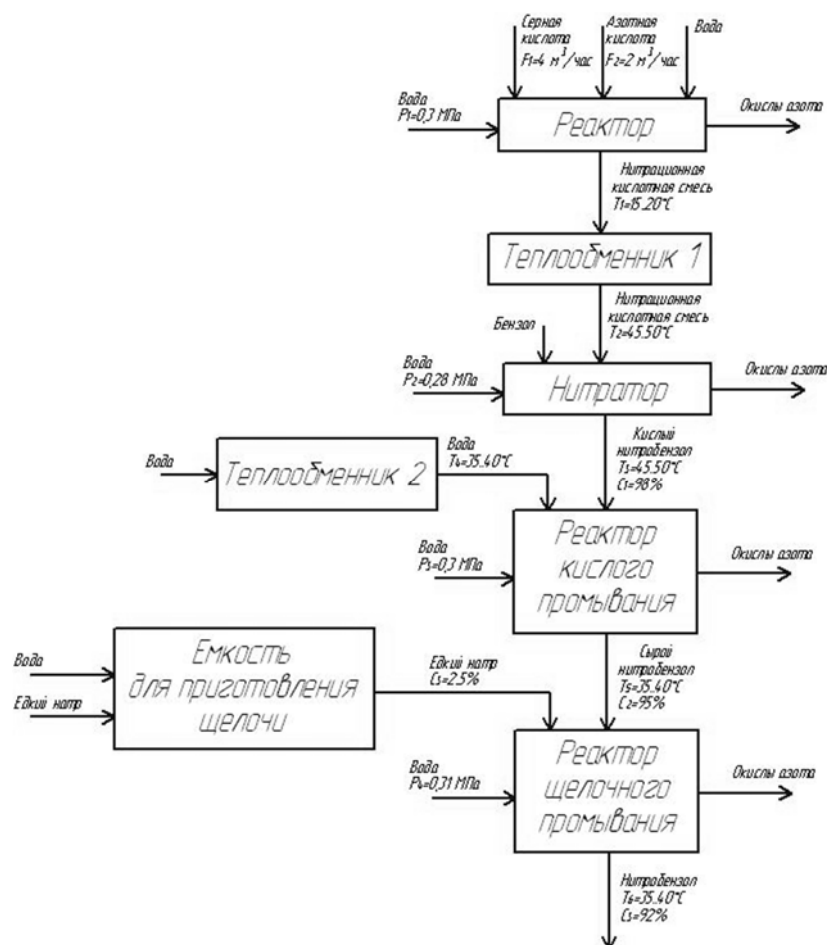


Рисунок 1.2 – Схема інформаційно-матеріальних потоків технологічного процесу виробництва нітробензолу

					СУЗ-51Ш 6.151.00.01.06.ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



На основі схеми руху матеріальних потоків визначимо параметри для сигналізації, контролю та управління, які зведемо в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 - Перелік параметрів сигналізації, контролю та управління

Параметр	Точка технологічного процесу	Функція	Діапазон вимірюваної величини	Допустима похибка вимірювань
Температура	Реактор	Контроль, управління, сигналізація	15...20 °C	1%
Температура	Нітратор	Контроль, управління, сигналізація	45...50 °C	1%
Температура	Реактор кислого промивання	Контроль, управління, сигналізація	35...40 °C	2%
Температура	Реактор лужного промивання	Контроль, управління, сигналізація	35...40 °C	1%
Температура	Трубопровід подачі НКС в нітратор	Контроль, сигналізація	45...50 °C	2%

Параметр	Точка технологічного процесу	Функція	Діапазон вимірюваної величини	Допустима похибка вимірювань
Температура	Трубопровід подачі води в реактор кислого промивання	Контроль, сигналізація	35...40 °C	1%
Тиск	Трубопровід подачі води в сорочку реактора	Контроль, сигналізація	0,3 МПа	2%
Тиск	Трубопровід подачі води в сорочку нітратор	Контроль, сигналізація	0,28 МПа	1%
Тиск	Трубопровід подачі води в сорочку реактора кислого Промивання	Контроль, сигналізація	0,3 МПа	1%
Тиск	Трубопровід подачі води в сорочку реактора лужного Промивання	Контроль, сигналізація	0,31 МПа	2%

Параметр	Точка технологічного процесу	Функція	Діапазон вимірюваної величини	Допустима похибка вимірювань
Рівень	Реактор	Контроль, управління, сигналізація	1,35 м	1%
Рівень	Нітратор	Контроль, управління, сигналізація	1,2 м	2%
Рівень	Реактор лужного Промивання	Контроль, управління, сигналізація	1,5 м	2%
Рівень	Ємність для приготування лугу	Контроль, управління, сигналізація	0,8 м	2%
Розхід	Трубопровід подачі сірчаної кислоти в реактор	Контроль, управління, сигналізація	4 м³/год	1%
Розхід	Трубопровід подачі азотної кислоти в реактор	Контроль, управління, сигналізація	2 м³/год	1%
Концентрація	Трубопровід подачі кислого нітробензолу в реактор кислого промивання	Контроль, управління, сигналізація	98%	2%

Параметр	Точка технологічного процесу	Функція	Діапазон вимірюва ної вели- чини	Допустима похибка вимірювань
Концен- трація	Трубопровід подачі <u>сирого нітробензо-</u> лу в реактор луж- ного Промивання	Контроль, управління, сигналізація	95%	2%
Концен- трація	Трубопровід подачі нітробензолу <u>на</u> стадію приготу- вання аніліну	Контроль, управління, сигналізація	92%	2%
Концен- трація	Трубопровід цир- куляції розчину їдкого натру	Контроль, управління, сигналізація	2...5%	1%

## 2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ

Після аналізу схеми руху матеріальних потоків були визначені такі точки управління, контролю та сигналізації:

### 2.1 Температура в трубопроводі подачі НКС в нітратор

Для вимірювання температури при постачанні НКС в нітратор служить датчик температури ТЕ. Сигналізація аварійних ситуацій здійснюється лампою НЛ та дзвінком НА, вид аварійної ситуації фіксується на панелі оператора (рис. 2.1).

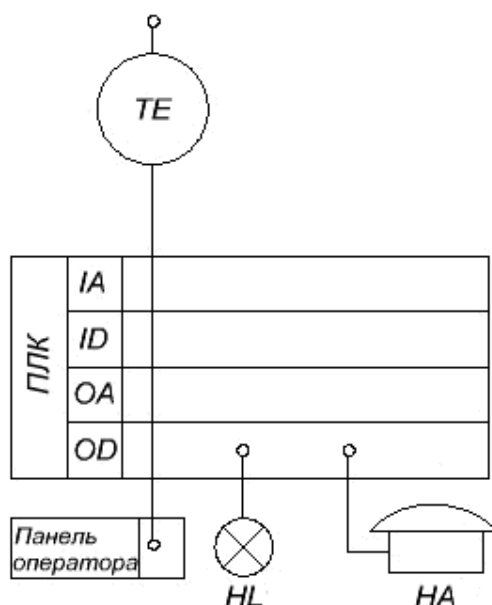


Рисунок 2.1 - Схема контролю температури в трубопроводі подачі НКС в нітратор

Ця схема може бути використана для контролю температури в трубопроводі постачання води в реактор кислого промивання.

### 2.2 Тиск в трубопроводі подачі води в сорочку реактора

Для виміру тиску в трубопроводі подстачання води в сорочку реактора служить датчик тиску РЕ. Сигналізація аварійних ситуацій здійснюється лампою НЛ та дзвінком НА, вид аварійної ситуації фіксується на панелі оператора (рис. 2.2).

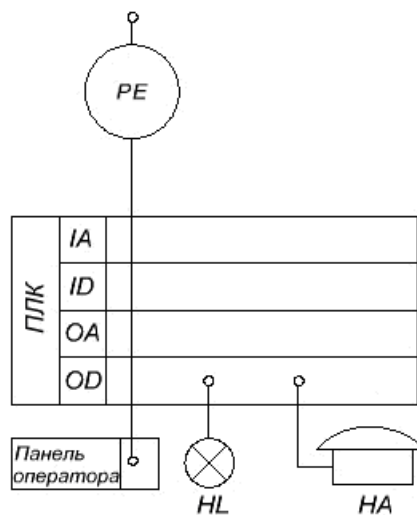


Рисунок 2.2 - Схема контролю тиску в трубопроводі подачі води в сорочку реактора

Ця схема може бути використана для контролю тиску в трубопроводах постачання води в сорочки нітратора, реактора кислого та лужного промивання.

## 2.3 Температура в реакторі

Температура в реакторі регулюється шляхом подачі холодної води в його сорочку.

Для вимірювання температури в реакторі служить датчик температури ТЕ.

На вході трубопроводу постачання води в сорочку реактора розташована запірно-регулююча арматура, яка регулює розхід води. Сигналізація аварійних ситуацій здійснюється лампою HL і дзвінком HA, вид аварійної ситуації фіксується на панелі оператора (рис. 2.3).



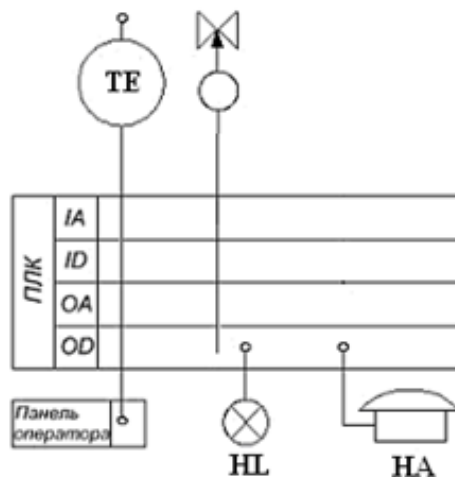


Рисунок 2.3 - Схема управління температурою в реакторі

Ця схема може бути використана для керування температурою в нітраторі, реакторі кислого та лужного промивання.

## 2.4 Рівень в реакторі

Рівень в реакторі регулюється шляхом подачі води в нього.

Для вимірювання рівня в реакторі служить рівнемір LE. На вході трубопроводу постачання води в реактор розташована запірно-регулююча арматура, яка регулює розхід води. Сигналізація аварійних ситуацій здійснюється лампою HL і дзвінком HA, від аварійної ситуації фіксується на панелі оператора (рис. 2.4).

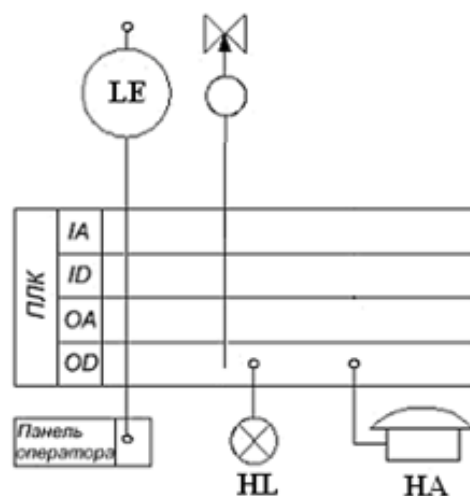


Рисунок 2.4 - Схема управління рівнем в реакторі

Ця схема може бути використана для керування рівнем в нітраторі, реакторі кислого та лужного промивання і ємності для приготування лугу.

## 2.5 Витрата в трубопроводі подачі сірчаної кислоти в реактор

Для вимірювання витрати сірчаної кислоти в трубопроводі подачі її в реактор служить датчик різниці - витратомір FT. На вході трубопроводу подачі сірчаної кислоти в реактор розташована запірно-регулююча арматура, яка регулює розхід кислоти. Сигналізація аварійних ситуацій здійснюється лампою HL і дзвінком НА, вид аварійної ситуації фіксується на панелі оператора (рис. 2.5).

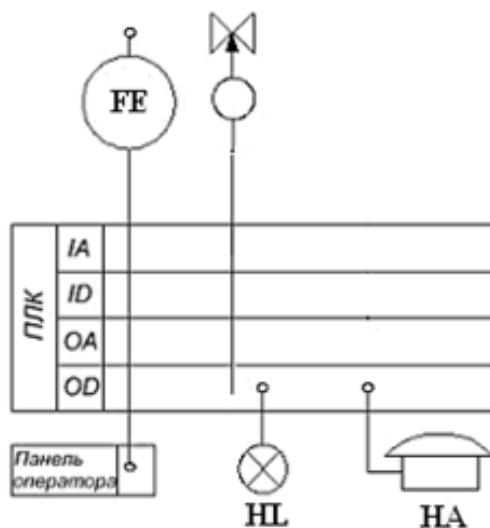


Рисунок 2.5 - Схема управління витратою сірчаної кислоти в трубопроводі подачі її в реактор

Ця схема може бути використана для керування витратою азотної кислоти в трубопроводі подачі її в реактор.

На основі локальних контурів була побудована ФСА процесу (СУЗ-51Ш 6.151.00.05. .A2).



### **3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ ТА АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ**

Взявши до уваги особливості ТП проготування нітраційної кислотної суміші, топологію об'єкту та розподіл функціональних елементів ТП по виробництву, вибираємо 2-х рівневу систему управління. Принципово важливими критеріями вибору засобів автоматизації виступають їх точність (вищий пріоритет), надійність і захищеність. Для запобігання колізій в протоколі RS-485 на об'єкті слід намагатися використовувати засоби автоматизації, що випускаються одним виробником.

#### **3.1 Нижній рівень автоматизованої системи управління технологічним процесом**

Нижній рівень повинен вирішувати завдання збору інформації з датчиків, контроль їх працезданості та ліній зв'язку, контроль параметрів і сигналізація про відхилення їх за допустимі технологічні межі, а також передає їх в АСУ верхнього рівня.

##### **3.1.1 Вибір датчиків**

###### **3.1.1.1 Датчики температури**

Регулювання температури в даному технологічному процесі проводиться в реакторі, нітраторі, реакторі кислої та лужної промивки, а також контроль в трубопроводах подачі НКС в нітратор та води в реактор кислого промивання. Використаємо термо-перетворювачі опору ДТС, бо діапазон вимірюваних температур майже однаковий

Порівняємо характеристики термоперетворювачів в таблиці 3.1.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблица 3.1 - Основні технічні характеристики термоперетворювачів опору ДТС

Найменування	Тип	Номинальна статична характеристика	Клас допуску	Вбудований перетворювач нормуючий (НП) в 4...20 мА	Діапазон вимірюваних температур	Вартість, грн
Овен ДТС	XX4	50М	А;	-	-50...150 <sup>0</sup> С	1217,15
		100М	В;			
		50П	С		-50...250 <sup>0</sup> С	1546,17
		100П Pt100		-		
Овен ДТС	XX5	50М	А;	+	-50...180 <sup>0</sup> С	1327,85
		100М	В;			
		50П	С		-50...500 <sup>0</sup> С	1568,92
		100П Pt100		-		

Для виміру температури більше всього підходить термоперетворювач опору типу XX5, бо він має достатній робочий діапазон, гарну точність, а також вбудований нормуючий перетворювач.

Для виміру температури обираємо термоперетворювач опору марки ОВЕН ДТС055-50М В3 60/1 Ех-Т6.

«Даний термометр опору мідний 50 М, модель 055, клас допуску В, з трьохпровідною схемою з'єднань, довжина монтажною частини 60 мм, Довжина кабельного виведення 1 м, у вибухозахищеному виконанні, Температурний клас Т6 (температура контрольованого середовища до 80 °С).»[6]

Зовнішній вигляд обраного датчика температури представлений на рисунку 3.1.

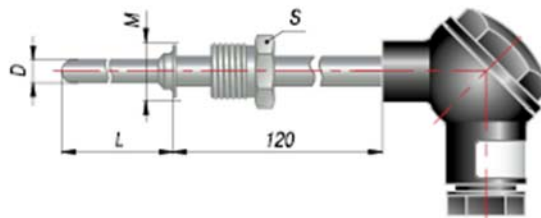


Рисунок 3.1 – Датчик температури ОВЕН ДТСО55-50М В3 60/1 Ex-T6

### 3.1.1.2 Датчик тиску

В даному технологічному процесі контроль тиску проводиться в трубопроводах подачі води до сорочки реактора, нітратора, реактора кислого та лужного промивання. Будемо обирати датчик (перетворювач) тиску, бо діапазон вимірюваного тиску невеликий. Для виміру тиску оберемо між датчиком ОВЕН ПД100-ДИО 4-111-1 та Сапфір 22м з верхньою межею вимірювання 0,4 МПа. Порівняємо їх характеристики в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Основні технічні характеристики датчиків (перетворювачів) тиску

Найменування	ОВЕН ПД100-ДИО,4-111-1	Сапфир-22М
Основна наведена похибка	1 % ВПИ	± 0,5
Вихідний сигнал	4...20 мА	4 - 20/ 20 - 4; 0 - 5/5 - 0; 0 - 20/20 - 0
Найменування	ОВЕН ПД100-ДИО,4-111-1	Сапфир-22М
Ступінь захисту корпусу	IP65	IP 65
Штуцер для підключення	M20x1,5 манометричний	-
Вартість, грн	3706,77	4776,34

Порівнявши технічні характеристики датчиків ОВЕН ПД100- ДІО 4-111-1 та сапфір 22 М, робимо висновок - ці датчики підходять. Не дивлячи на те, що датчик Сапфір 22М, має меншу похибку, віддаємо перевагу датчику ПД100-ДІО 4-111-1, бо у нього достатня для даного виміру точність, та набагато менша вартість-тому обираємо датчик тиску ОВЕН ПД100- ДІО 4-111-1.

Зовнішній вигляд обраного датчика тиску представлений на малюнку 3.2.



Рисунок 3.2 – Датчик тиску ОВЕН ПД100- ДІО 4-111-1

### 3.1.1.3 Датчик рівня

В даному технологічному процесі рівень регулюється в реакторі, нітраторі, реакторі кислого та лужного промивання та ємкості для приготування лугу.

Для виміру рівня обиратимемо один з наступних датчиків:

#### а) Датчик гідростатичного тиску САПФИР- 22- ДГ

Датчик Сапфір- 22- ДГ використовують в АСУ ТП для виміру гідростатичного тиску газу, пари, палива, води, та різних рідин. Це дозволяє контролювати розхід та рівень цих середовищ, а також безперервну передачу вимірюваних значень (у вигляді вихідного струмового сигналу) на апаратуру реєстрації даних або виконавчі механізми.

Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.3.

#### б) Перетворювач гідростатичного тиску ОВЕН ПД100- ДГ

Датчик ОВЕН ПД100- ДГ являє собою перетворювач гідростатичного тиску з вимірювальною мембраною із нержавіючої сталі та вбудованим гідрометричним кабелем.

«Дана модель характеризується можливістю роботи всередині рідини. Для зв'язку сенсора з атмосферою в кабелі присутній капіляр. Знімний захисний ковпачок оберігає вимірювальну мембрану (відкритий сенсор) від механічних пошкоджень.»[6]

Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Зведена таблиця характеристик датчиків рівнів

Назва датчика	Функціональні особливості	Діапазон вимірювання	Основна похибка	Вихідний сигнал	Вартість, грн
САПФИР-22-ДГ-2540	Датчик гідростатичного тиску	63 кПа	0,25 %	0-5 мА, 4-20 мА	8736,66
ОВЕН ПД100-ДГ0,06-137-0,5.6	Перетворювач гідростатичного тиску	0,06 МПа	0,5 %	4-20 мА	8215,88

Після порівняння технічних характеристик цих датчиків, а також їх ціну робимо висновок та зупиняємо свій вибір на перетворювачі гідростатичного тиску ОВЕН ПД100- ДГ0,06-137-0, 5.6, бо у нього невелика величина похибки, якої нам достатньо.

Зовнішній вигляд датчика рівня представлений на малюнку 3.3.



Рисунок 3.3 – Перетворювач гідростатичного тиску ОВЕН ПД100-ДГ0,06-137-0,5.6

Будемо робити виміри в агресивному середовищі, тому для захисту внутрішніх поверхонь датчика, потрібно встановити розділову посудину чи мембрану.

Тому будемо використовувати РМ 5319 (рис. 3.4), основні параметри якого вказані в таблиці 3.4.

Роздільники призначені для запобігання внутрішньої порожнини чутливих елементів вимірювальних пристроїв (манометрів і перетворювачів тиску) від попадання в неї середовищ, агресивних, гарячих, кристалізуються, несучих зважені тверді частинки. При необхідності, сторона мембрани роздільника, що стикається з агресивною вимірюваною середовищем, може бути захищена фторопластом.. Роздільники випускаються по ТУ 25-05. 2343-78.



Рисунок 3.4 – Роздільник мембранний РМ 5319

Таблиця 3.4 - Основні технічні характеристики РМ 5319

Верхні межі вимірювань вимірювальних пристроїв, що комплектуються роздільниками, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,025-2,5 (0,25-25)
Обсяги, що заповнюються розділовою рідиною вимірювальних пристроїв, що комплектуються роздільниками, см <sup>3</sup>	40
Маса роздільників <u>не більше</u> , кг	3
Вартість, грн	3400

#### 3.1.1.4 Датчики витрати

В даному ТП проводиться регулювання розходу сірчаної та азотної кислот в трубопроводах подачі їх в реактор. Можемо застосувати один тип датчика, бо діапазон у точках виміру витрат майже однаковий. Оберемо один з наступних датчиків:

##### а) Датчик різниці тиску САПФИР- 22- ДД

Перетворювач різниці тиску Сапфір- 22- ДД призначений для постійного перетворення значення тиску в уніфікований вихідний сигнал(струмовий). Також цей датчик може бути застосований для виміру витрати перетворюючи різницю тиску в уніфікований вихідний сигнал(за квадратичним законом).

Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.5.

##### б) Перетворювач диференціального тиску ОВЕН ПД 200

Перетворювач даної моделі призначений для виміру різниці тиску або рівня рідин в ємкостях під тиском в системах автоматичного регулювання і



управління в промисловості та ЖКГ(газорозподільних системах, , об'єктах енергетики, парогенеруючих об'єктах, вентиляційних системах і т. п.)

Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Основні технічні характеристики датчиків різності тиску

Назва датчика	Функціональні особливості	Діапазон вимірювань	Основна похибка	Вихід- ної сиг- нал	Вартість, грн
САПФИР-22- ДД-2440	Датчик різниці (перепаду) тисків	63 кПа	0,15 %	0-5 мА, 4-20 мА	23932,23
ОВЕН ПД200- ДД0,04-155- 0,25-2-Н	Перетворювач диференціально- го тиску	0,04 МПа	1 %	4-20 мА	23244,51

Взявши до уваги принцип дії датчиків та порівнявши характеристики і ціни робимо висновок, що датчик диференціального тиску ОВЕН ПД200-ДД0,04-155-0,25-2-Н підходить краще, бо має достатню для даних вимірювань точність, але меншу вартість. Отже обираємо датчик тиску від фірми ОВЕН

Зовнішній вигляд датчика представлений на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Перетворювач диференціального тиску ОВЕН ПД200-ДД0,04-155-0,25-2-Н



В якості звужувача використовуємо безкамерну діафрагму ДБС-0.6-50б, технічні характеристики якої наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Основні технічні характеристики діафрагми безкамерної ДБС-0.6-50б

Найменування	Позначення	Умовний тиск $P_u$ , МПа	Умовні проходи $D_u$ , мм	Матеріал	Умове позначення	Вартість, грн
Діафрагма безкамерна	ДБС	0,6	50	Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632	Б	3150

Зовнішній вигляд діафрагми представлений на малюнку 3.6.



Рисунок 3.6 – Діафрагма безкамерна ДБС-0,6-50-Б

Так як вимірювана середовище є агресивною, в якості роздільника мембранного також використовуємо РМ 5319.

### 3.1.2 Виконавчі механізми

Для управління параметрами, що вимірюємо потрібно обрати виконавчі механізми.

В якості виконавчих механізмів можуть бути використані:

**а) Механізм виконавчий пневматичний МІП-320**

Призначений для переміщення регулюючих та запірно-регулюючих органів в системах автоматичного і дистанційного керування.

Основні характеристики виконавчого механізму наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Основні характеристики МІП-320

Тип	МІП-320
Робоче середовище	Стиснуте повітря
Умовний хід (типорозмір), мм	100, 200, 320, 400
Тиск живлення	от 0,4...1 МПа
Вхідний сигнал	0,02...0,1 МПа

**б) Регулюючий поршневий пневмоклапан Burkert 2300 (рис. 3.8)**

Пневмоклапан Burkert 2300 призначений для точного регулювання рідин та сипучих матеріалів в трубопроводах(переріз 13-50 мм. Пневмоклапан поставляється з різними видами приєднання. Клапан має чудові регулюючі характеристики. Відмінна особливість Burkert 2300 – це пневмопривід з нержавіючої сталі. Ущільнення з матеріалів: сталь-сталь або PTFE-сталь. Температура робочого середовища:-10-+180<sup>0</sup>С.



Рисунок 3.8 – Пневмоклапан Burkert 2300

Ціна пневмоклапана – 67516,31 грн.

					СУЗ-51Ш 6.151.00.01.06.ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Обираємо пневмоклапан Burkert 2300, бо він зручний у використанні.

Для обраного пневмоклапана використовуємо електропневматичний позиціонер Burkert8696.

Цифровий електропневматичний позиціонер Burkert8696 (рис. 3.9) був розроблений для регулюючих пневмоклапанів Burkert23xx/2103. Burkert 8696 вироблений з нержавіючої сталі та полісульфону. Він не має індикації. Напруга живлення 24В DC, вхідний сигнал 4-20мА або 0-10В.



Рисунок 3.9 – Електропневматичний позиціонер Burkert8696

Ціна позиціонера – 30916,67 грн.

### **3.2 Верхній рівень автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП)**

Верхній рівень АСУТП виконує функцію двосторонньої взаємодії з оператором(відображення, накопичення та аналіз даних).

Основна задача вибору технічних засобів- це перевірка сполучення каналів управління контролера з приводами.

Сформуємо вимоги до портів контролера, на основі відомих даних (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнали	Кількість сигналів
Аналогові вхідні	21
Дискретні вхідні	5
Аналогові вихідні	7
Дискретні вихідні	22

### 3.2.1 Вибір контролера

Для реалізації управління даним ТП необхідний контролер з модулями розширення.

В якості контролера можуть бути використані:

#### а) Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК 160-24 А М

Цей контролер застосовується для створення СУ малими і середніми об'єктами.

Побудова системи управління і диспетчеризації на ОВЕН ПЛК виконується як за допомогою дротових засобів (Ethernet, RS-232, RS-485), так і бездротових (радіо, GSM, ADSL модеми).

#### Обчислювальні ресурси ОВЕН ПЛК 160

Без операційної системи контролер має значні ресурси для обчислення:

- процесор RISC архітектури ARM9 (180мгц) від компанії Atmel;
- оперативна пам'ять у розмірі-8МБ;
- розмір Flash пам'яті(постійна пам'ять) -4МБ;
- розмірпам'яті для зберігання змінних- 16кб.

Зовнішній вигляд контролеру представлений на малюнку 3.10.



Рисунок 3.10 – ОВЕН ПЛК 160-24 А М

### Електричні параметри

- Два варіанти живлення для кожного контролера:
- змінний струм: (90-265)В, (47...63) Гц;
- постійний струм: (18-29) в.
- Невелика споживана потужність до 10Вт.
- Дискретні входи-16
- Дискретні виходи-12
- Аналогові входи-8
- Аналогові виходи-4
- Всі дискретні входи контролера вимірюють сигнал 24В.
- Тип сигналу може бути як pnp, так і р-n-р.
- Дискретні виходи типу: Р-реле.

Аналогові входи, для підключення універсальних датчиків струму або напруги. Дискретні виходи контролерів можуть бути настроєні на видачу ШИМ сигналу, або генератора з високою точністю.

Ціна ПЛК – 20105,36 грн.

### б) Програмований логічний контролер SIMATIC S7 1200

«Програмований контролер SIMATIC S7 - 1200 виробництва SIEMENS – це базовий контролер для вирішення самих різних завдань Автоматизації малого і середнього рівня. Цей контролер має модульну конструкцію і універсальне призначення. Він здатний працювати в реальному масштабі часу, може використовуватися для побудови відносно простих вузлів локальної автоматики або вузлів ком-плексних систем автоматичного управління, що підтримують інтенсивний комунікаційний обмін даними через мережі Industrial Ethernet/PROFINET, а також PtP (Point-to-Point) з'єднання.

Програмований контролер S7 - 1200 має компактні пластикові корпуси зі ступенем захисту IP20, може монтуватися на стандартну 35 мм профільну шину DIN або на монтажну плату і працює в діапазоні температур від 0 до +50 °С. Він здатні обслуговувати 24 дискретних і 12 аналогових канали введення-виведення.»[7]

### Центральний процесор

Має високу продуктивність і забезпечує підтримку широкого набору функцій:

- Програмування на мовах LAD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram) і SCL (Structured Control Language).
- Висока швидкодія, час виконання логічної операції не перевищує 0.1 мкс.
- Вбудована завантажувана пам'ять об'ємом до 4 Мбайт, розширювана кар-тій пам'яті ємністю до 4 Гбайт.
- Робоча пам'ять ємністю до 150 Кбайт.
- Енергонезалежна пам'ять ємністю 10 Кбайт для необслуговуваного збереження даних при перебоях в харчуванні контролера.
- Вбудовані дискретні входи універсального призначення, що дозволяють вводити потенційні або імпульсні сигнали.
- Вбудовані апаратні Годинники реального часу з запасом ходу при перебоях в харчуванні 20 днів.
- Вбудовані швидкісні лічильники з частотою проходження вхідних сигналів до 1 МГц.



- Вбудовані імпульсні виходи з частотою проходження імпульсів до 1 МГц (тільки в CPU з транзисторними виходами).
  - Підтримка функцій під регулювання.
  - Підтримка функцій управління переміщенням відповідно до вимог стандарту PLCopen.
  - Підтримка функцій оновлення операційної системи.
  - Вбудований WEB-сервер, що дозволяє виконувати Дистанційну діагностику програмованих контролерів з використанням стандартно-го Web браузера.
  - Парольний захист програми Користувача.
  - Комунікаційні модулі CM 12xx і CP 12xx для підключення контролера до мережі Industrial Ethernet, PROFIBUS DP, обміну даними через послідовні канали зв'язку, мобільну мережу GSM, канали зв'язку Si-стем телеуправління.
- Зовнішній вигляд ПЛК представлений на малюнку 3.11.



Рисунок 3.11 –ПЛК SIMATIC S7-1200

Ціна ПЛК – 22906,36 грн.

Вищевказані ПЛК однаково добре розв'язують поставлені завдання, але на нижньому рівні АСУ були обрані переважно датчики від ОВЕН, тому для мінімізування колізій по протоколу RS-485, ми обираємо ОВЕН ПЛК 160.

В обраному контролері недостатньо «рідних» аналогових та дискретних входів-виходів, отже є необхідність використання додаткових модулів аналогового введення та виведення модулю виведення дискретних сигналів. Також необхідно підключили панель оператора та блок живлення.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

### 3.2.2 Модуль аналогового введення ОВЕН МВ110-220 8АС

«Прилад призначений для перетворення вимірюваних аналогових сигналів в цифровий код і передачі результатів вимірювання в мережу RS-485. Призначається для побудови автоматизованих систем збору даних у різних галузях промисловості, сільського та комунального господарства, на транспорті.

Аналогові входи приладу можуть працювати в наступних режимах:

вимірювання струму в діапазоні від 4 до 20 мА;

вимірювання струму в діапазоні від 0 до 20 мА;

вимірювання струму в діапазоні від 0 до 5 мА;

вимірювання напруги в діапазоні від 0 до 10 В.

Прилад працює в мережі RS-485 по протоколах ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON. Прилад має наступні групи гальванічно ізольованих ланцюгів:

ланцюги живлення приладу;

ланцюги інтерфейсу RS-485;

ланцюги виходу вбудованого джерела постійної напруги 24 В.

Електрична міцність ізоляції всіх груп ланцюгів, виключаючи групу ланцюгів харчування, відносно один одного - 750 В, щодо групи ланцюгів харчування – 3000 В.

Прилад не є майстром мережі, тому мережа RS - 485 повинна мати майстер мережі, наприклад, ПК із запущеною на ньому SCADA-системою, контролер або регулятор.

До приладу надається безкоштовний OPC-драйвер і бібліотека стандарту WIN DLL, які рекомендується використовувати при підключенні приладу до SCADA-систем і контролерів інших виробників.

Конфігурування приладу здійснюється на ПК через адаптер інтерфейсу RS-485/RS-232 або RS-485/USB (наприклад, ОВЕН АС3-м або АС4) за допомогою програми «Конфігуратор М110», що входить в комплект поставки.

Прилад відповідає вимогам по стійкості до впливу перешкод відповідно до ГОСТ Р 51522 для обладнання класу А.»[6]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Зображення приладу представлено на малюнку 3.13.



Рисунок 3.13 – ОВЕН MB110-220.8AC

Основні технічні характеристики приладу ОВЕН MB110-220.8 AC наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 - Основні технічні характеристики ОВЕН MB110-24.8AC

Найменування	Значення
Напруга живлення	24 В постійний струм
Споживана потужність, ВА, не більше	8
Межа основної наведеної похибки, %	0,25
Межа додаткової наведеної похибки, %	0,12
Роздільність: - для діапазонів струмів від 4 до 20 мА і від 0 до 20 мА, мкА не більше - для діапазону струму від 0 до 5 мА, мкА не більше - для діапазону напруги від 1 до 10 В, мВ, не більше	4  1  2
Кількість аналогових каналів вимірювання	8
Вхідний опір в режимі вимірювання струму від 0 до 20 мА і від 4 до 20 мА, Ом	от 130 до 250

Вхідний опір в режимі вимірювання напруги від 0 до 10 В, кОм, не менше	200
Період оновлення результатів вимірювання по кожному каналу, мс	$5 \pm 2 \%$
Вихідна напруга вбудованого джерела живлення, В	$24 \pm 3$
Максимальний струм навантаження вбудованого джерела живлення, А	0,18
Інтерфейс зв'язку з майстром мережі	RS-485
Максимальна кількість приладів, одночасно підключаються до мережі RS-485, не більше	32
Максимальна швидкість обміну по інтерфейсу RS-485, біт/с	115200
Ступінь захисту корпусу	IP20

### 3.2.3 Модуль аналогового виводу ОВЕН МУ110- 24 8И

Модуль аналогового виведення ОВЕН МУ110-24 8 призначений для перетворення цифрових сигналів, що передаються по мережі RS-485, в аналогові сигнали діапазоном 4-20 мА та 0-10 В. Модуль працює в мережі RS-485 по протоколах ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON.

МУ110 не є майстром мережі, тому мережа RS - 485 повинна мати майстер мережі, наприклад, ПК із запущеною на ньому SCADA-системою, контролер або регулятор. В якості майстра мережі можуть використовуватися прилади та контролери ОВЕН . Разом з модулем надається безкоштовний OPC-драйвер та бібліотека WIN DLL.

«Конфігурування ОВЕН МУ110-24.8 і здійснюється за допомогою ПК через адаптер інтерфейсу RS-485/RS-232 або RS-485/USB (наприклад, ОВЕН АС3-м або АС4, відповідно) за допомогою програми «Конфігуратор М110», що входить в комплект поставки.»[6].

Основні технічні характеристики приладу ОВЕН МВ110-24. 8 наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 - Основні технічні характеристики ОВЕН МУ110-24.8И

Найменування	Значення
Напруга живлення	24 В постійний струм
Споживана потужність, ВА, не більше	6
Кількість аналогових вихідних елементів	8
Тип аналогових вихідних елементів	ЦАП «параметр – ток 4...20 мА»
Основна наведена похибка ЦАП,%, не більше	$\pm 0,5$
Опір навантаження, що підключається до виходу, Ом	0...1300
Інтерфейс зв'язку з майстром мережі	RS-485
Максимальна кількість приладів, одночасно підключаються до мережі RS-485, не більше	32
Максимальна швидкість обміну по інтерфейсу RS-485, біт/с	115200
Ступінь захисту корпусу	IP20
Габаритні розміри приладу, мм	(63x110x73) $\pm 1$
Маса приладу, кг, не більше	0,5
Середній термін служби, років	8
Ціна з доставкою	6020 грн



### 3.2.4 Модуль дискретного виводу ОВЕН МУ110-24.16Р

ОВЕН МУ110-24.16Р працює в мережі RS-485 по протоку ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON.

ОВЕН МУ110-24.16Р не є майстером, тому мережа RS-485 повинна мати майстра мережі, наприклад, ПК із SCADA-системою, контроллер або регулятор.

Основні технічні характеристики приладу ОВЕН МУ110-24.16Р приведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 - Основні технічні характеристики ОВЕН МУ110-24.16Р

Найменування	Значення
Напруга живлення: МУ110-220.16Р  МУ110-24.16Р  МУ110-224.16Р	90...264 В змінного струму (Номінальна напруга 220 В) частотою 47...63Гц 18...29 В постійного струму (Номінальна напруга 24 В) 90...264 В змінного струму (Номінальна напруга 220 В) частотою 47.63 Гц або 20...375 В постійного струму (Номінальна напруга 24 В)
Споживана потужність, ВА, не більше МУ110-220 (224).16Р(К) МУ110-24.16 Р(К)	12 6
Кількість дискретних вихідних елементів	16
Інтерфейс зв'язку з комп'ютером	RS-485
Максимальна швидкість обміну по інтерфейсу RS-485, біт / сек	115200
Протокол зв'язку, який використовується для передачі інформації	ОВЕН; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON
Ступінь захисту корпусу	IP20
Габаритні розміри приладу, мм	63x110x73
Маса приладу, кг, не більше	0,5
Середній термін служби, років	8

Зображення приладу представлено на малюнку 3.14.



Рисунок 3.14 - ОВЕН МУ110-24.16Р

### 3.2.5 Графічна панель оператора з сенсорним управлінням

Для візуалізації проходження технологічного процесу, відображення поточних параметрів, завдання вхідних величин та індикації каналу аварії застосуємо сенсорну графічну панель оператора ОВЕН СП 270(рис.3.15).



Рисунок 3.15 – ОВЕН СП 270

Основні технічні характеристики ОВЕН СП 270 наведені в таблиці 3.13.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблиця 3.13 - Основні технічні характеристики ОВЕН СП270

Напруга живлення постійного струму	22...26 В
Споживаний струм	не більше 0,150 А
Споживана потужність	не більше 30 Вт (номінальне споживання 5 Вт)
Використовувані інтерфейси зв'язку	RS-232 (2 шт.), RS-485 (1 шт.)
Тип інтерфейсу для зв'язку з ПЛК	RS-232, RS-485
Тип інтерфейсу для завантаження проекту з ПК	RS-232
Швидкість передачі даних по інтерфейсах	4800, 9600, 14400, 19200, 38400, 115200 бит/с
Пам'ять програм (Flash-RAM)	4 Мбайт
Пам'ять даних (SD RAM)	4 кбайт
Ступінь захисту корпусу з боку лицьової панелі	IP65
Тип дисплея, діагональ	кольоровий (TFT), 178 мм (7")
Кількість відображуваних кольорів	256
Роздільна здатність дисплея	480x234 пікселя
Ціна, грн	10192,48

### 3.2.6 Блок живлення

Для живлення модулів введення-виведення, контролера та панелі оператора виберемо блок живлення (табл. 3.14).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблиця 3.14 – Перелік споживачів

Найменування споживач	Споживаний потужність, Вт
МВ110-24.8И	6
ПЛК 160	10
МУ110-24.8И	6
МВ110-24.16Р	6
СП270	24
Итого:	52

Обираємо 1-канальний блок живлення ОВЕН БП60Б-Д4 (рис. 3.16) потужністю 60 Ватт.



Рисунок 3.16 – Одноканальний блок живлення ОВЕН БП60Б-Д4

Основні технічні характеристики ОВЕН БП60Б-Д4 наведені в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 – Основні технічні характеристики ОВЕН БП60Б-Д4

Частота вхідної змінної напруги:	47...63 Гц
Поріг спрацьовування захисту по струму:	не більше 1,5 $I_{max}$
Максимальна вихідна потужність:	60 Вт
Робочий діапазон температур:	-20...+50 °C
Рівень радіоперешкод по ГОСТ Р 51527:	група С
Вихідна напруга:	$24 \pm 1 \% В$
Амплітуда пульсації вихідної напруги:	120 Мв
Макс. струм навантаження $I_{max}$ :	2,5 А
Струм споживання:	1,03...0,41 А
Вартість, грн	4115,09

### 3.3 Розробка системи сигналізації та блокування

Для здійснення технологічної сигналізації скористаємося блоком технологічної сигналізації ПТС-64.

Блок технологічної сигналізації призначений для узагальненої і поканальної сигналізації параметрів технологічних процесів, значення яких в процесі роботи перевищують ті чи інші технологічні установки. Використовується як в локальних так і в комплексних системах промислової автоматизації виробничих процесів в схемах технологічної та аварійної сигналізації.

Прилад технологічної сигналізації ПТС-64 складається з одного блоку ПТС-2 (провідний пристрій або прилад узагальненої сигналізації) і одного або декількох блоків ПТС-8 (ведений пристрій або прилад поканальної сигналізації).



## Функціональні можливості

Виконувані функції:

«Світлодіодна індикація спрацьовування поканальної (ПТС-8) і узагальненої сигналізації (ПТС-2);

Підключення зовнішніх світлодіодних індикаторів (через клемний з'єднувач або роз'єм ГТС-Б);

Вибір типу сигналу сигналізації-статичний сигнал (постійне світіння) або динамічний з частотою F1 або F2. Використання F1 і F2 направлено на два різних (по тону, силі звучання) звукових пристроїв;

Квітування (зняття) сигналізації проводиться за допомогою кнопки, що підключається до клем ПТС-2;

Перевірка (тестування) сигналізації проводиться за допомогою кнопки, що підключається до клем ПТС-2.

Пристрій ПТС - 2 (провідне) містить:

Два незалежних канали сигналізації перемикаючими контактами частоти F1 і F2;

Задатчик частоти сигналів сигналізації F1 і F2;

Вузол квітування (зняття) сигналізації;

Вузол перевірки сигналізації;

Пристрій ПТС-8 (ведене) містить:

Пристрій ПТС-8 (ведене) містить:

Вісім незалежних каналів сигналізації з можливістю по каналного вибору сигналу сигналізації та номера каналу спрацьовування сигналізації ПТС-2;

Підключення приладу технологічної сигналізації ПТС - 64 здійснюється наступним чином. До ведучого пристрою ПТС-2 підключаються від одного до восьми ведених пристроїв ПТС-8.»[8].

Схема підключення приладу представлена на рис. 3.17.

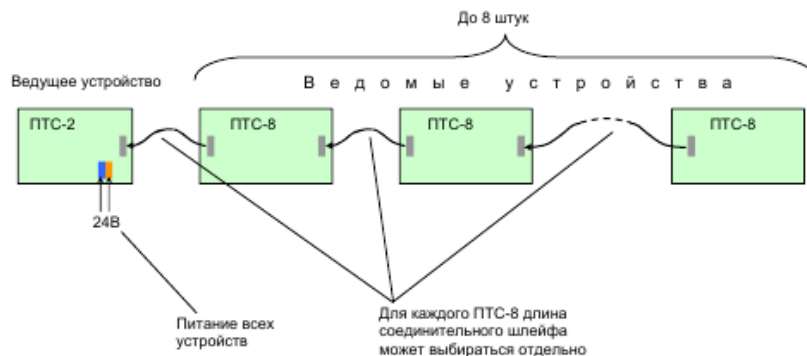


Рисунок 3.17 – Схема підключення приладу ПТС 64

Зовнішній вигляд приладу технологічної сигналізації ПТС- 64 представлений на малюнку 3.18.

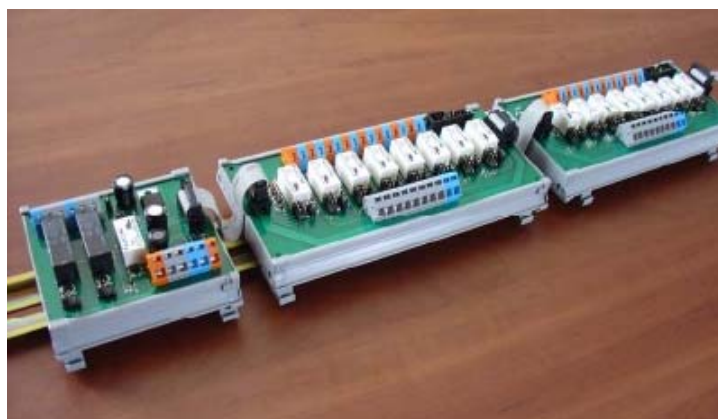


Рисунок 3.18 - Зовнішній вигляд приладу технологічної сигналізації ПТС-64

Ціна ПТС- 64 – 1744 грн.

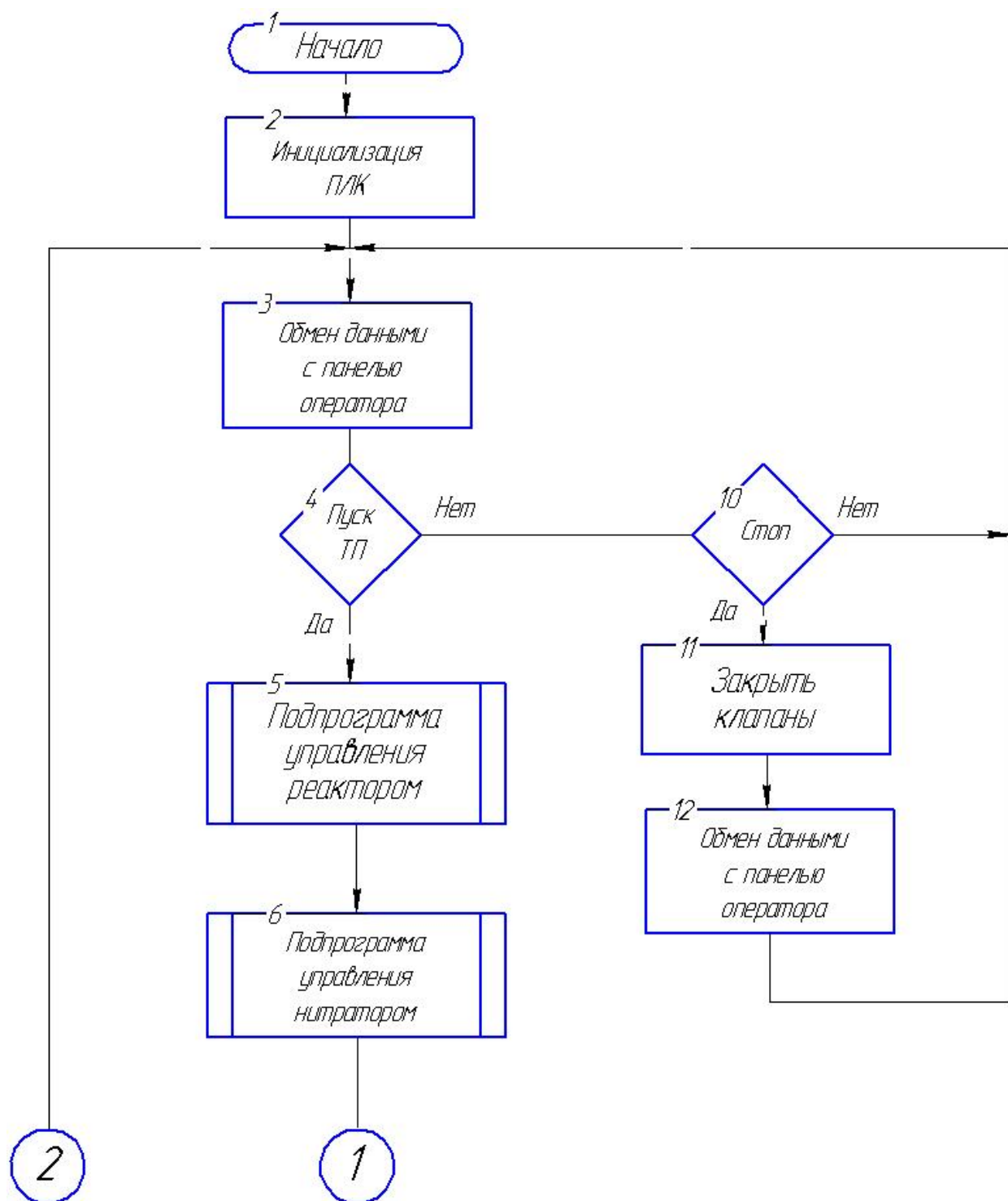
### 3.4 Розробка алгоритмів управління

У загальному вигляді система працює за алгоритмом, представленим на малюнку 3.19.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

СУЗ-51Ш 6.151.00.01.06.ПЗ

Лист
46



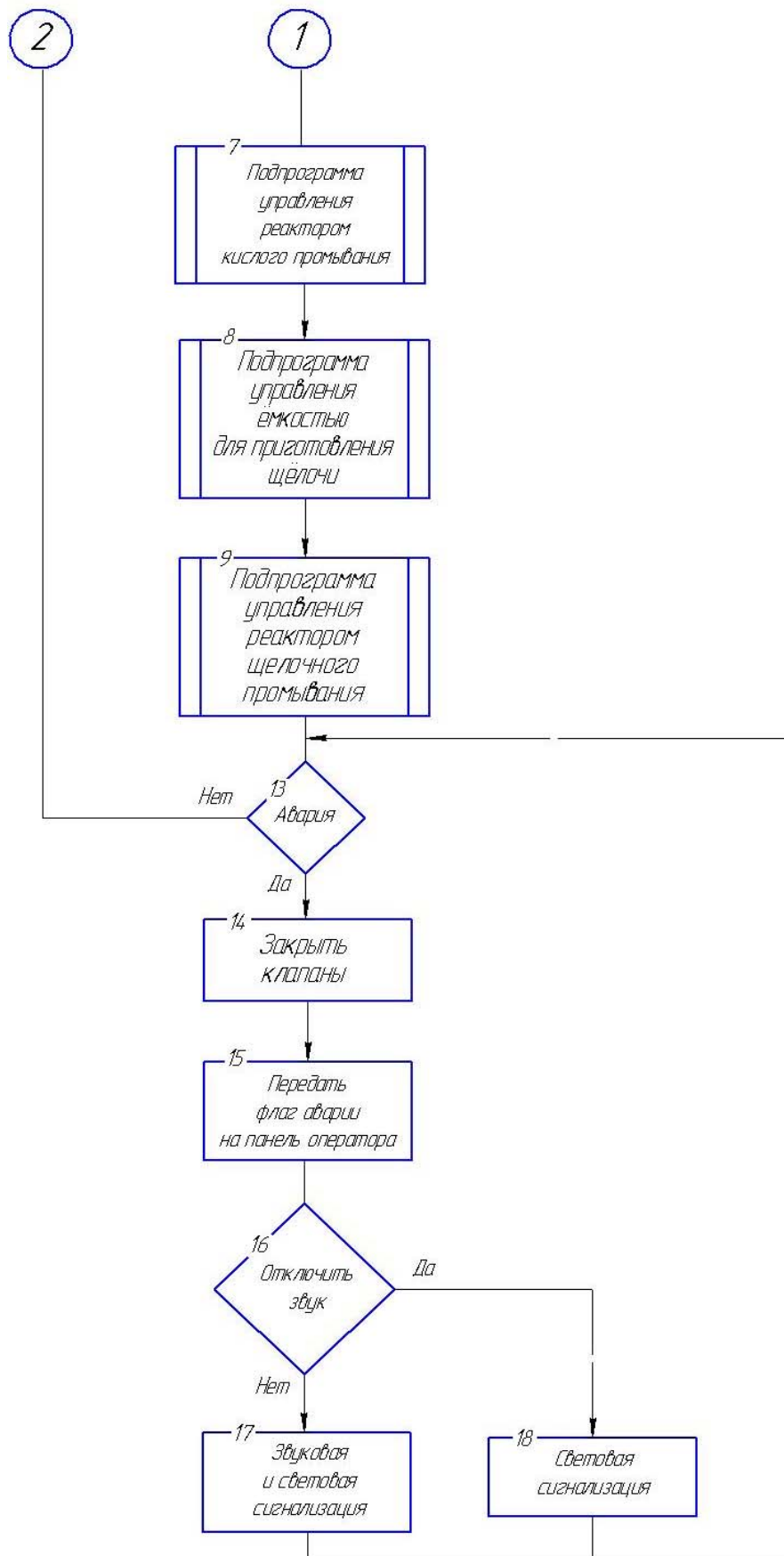


Рисунок 3.19 – Загальний алгоритм роботи системи

Алгоритми окремих підпрограм управління наведені на малюнках 3.20-3.24.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

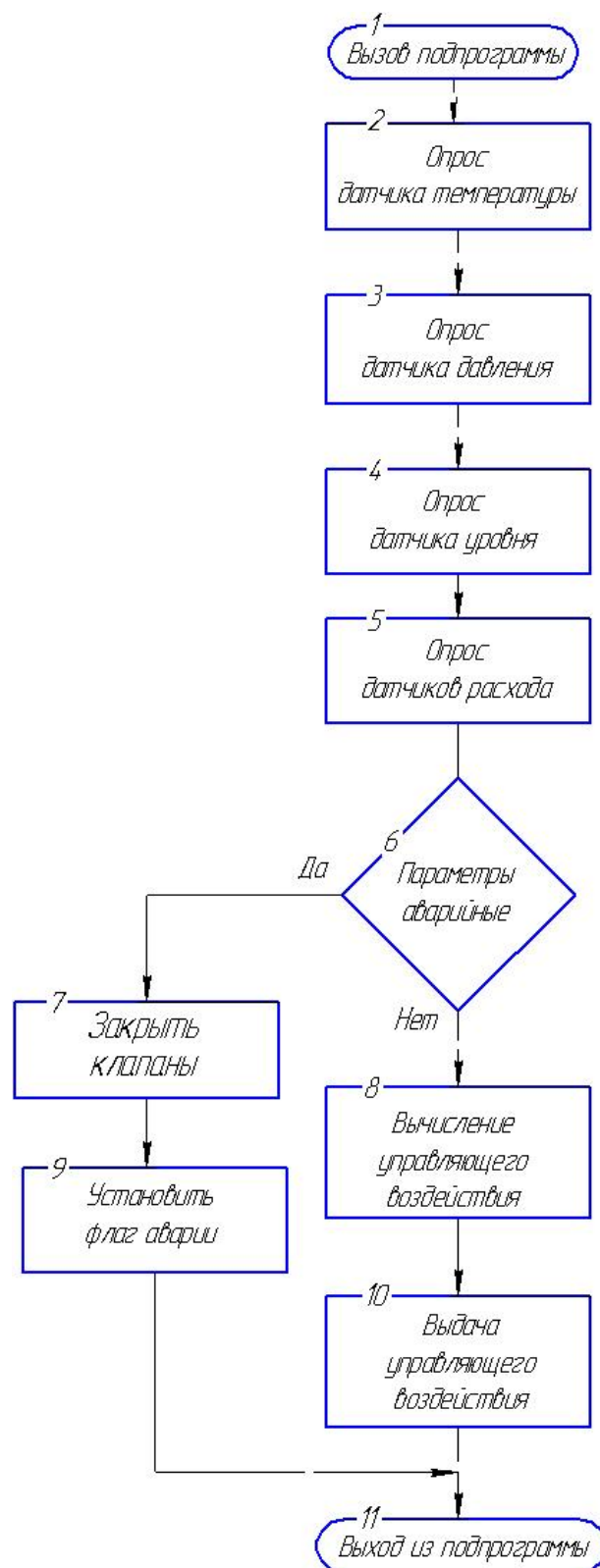


Рисунок 3.20 – Підпрограма управління реактором

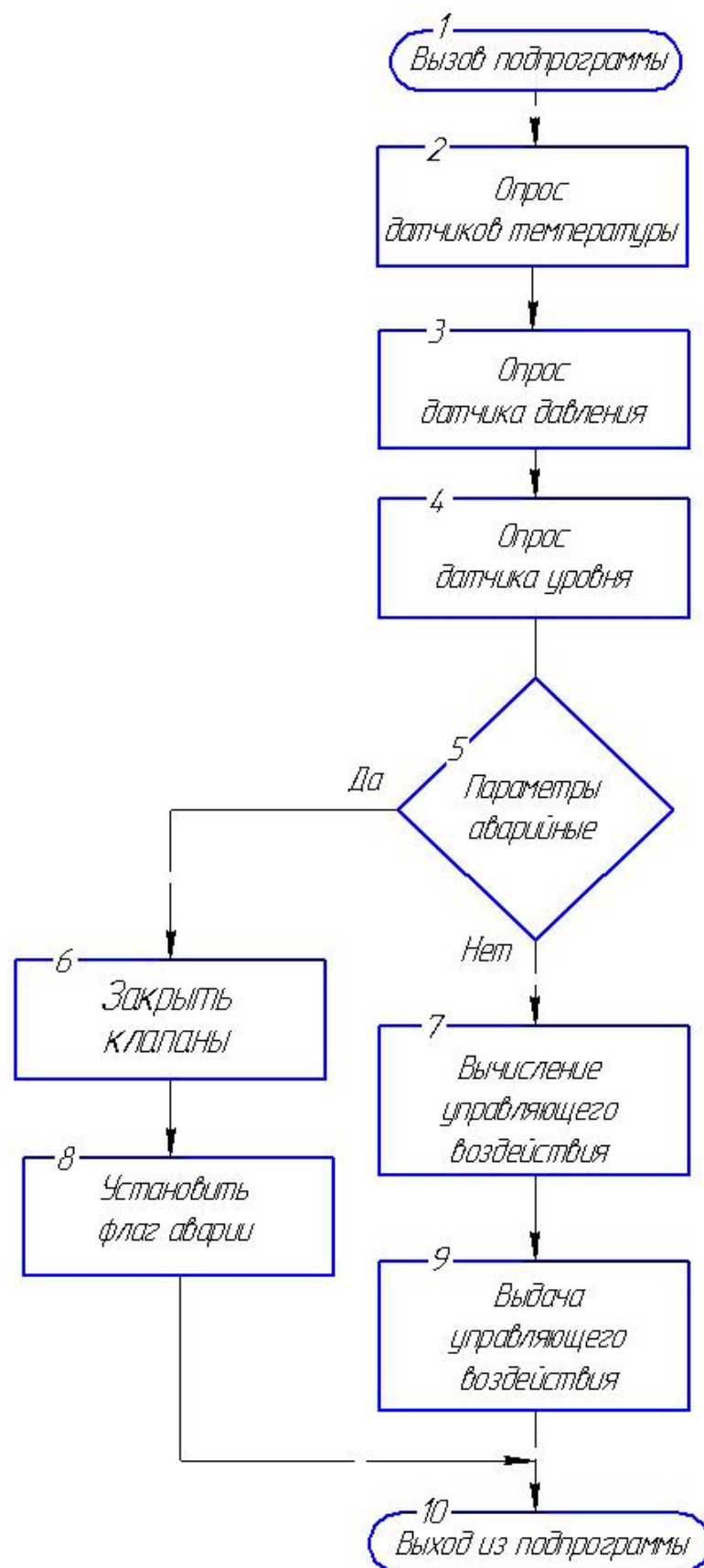


Рисунок 3.21 – Підпрограма управління титратором

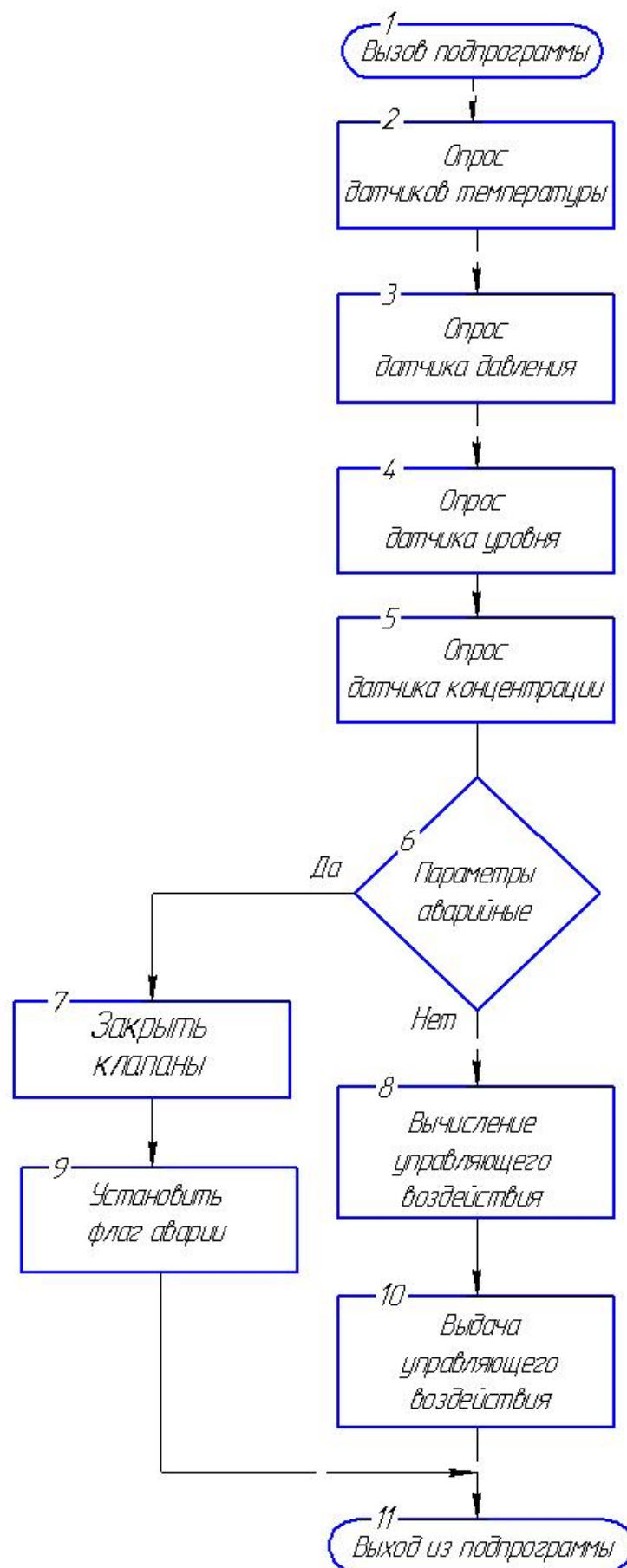


Рисунок 3.22 – Підпрограма управління реактором кислого промивання



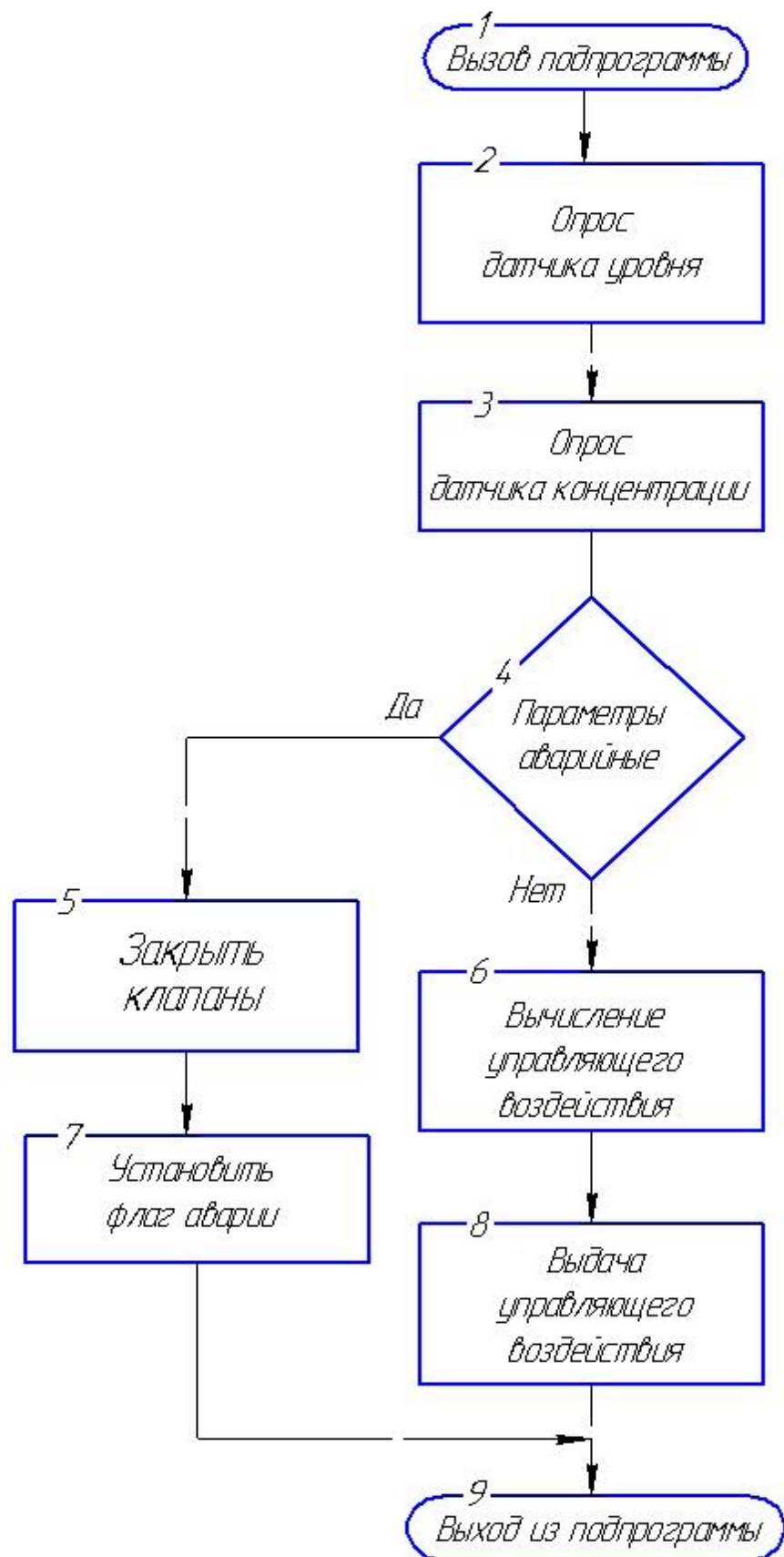


Рисунок 3.23 – Підпрограма управління ємністю для приготування лугу

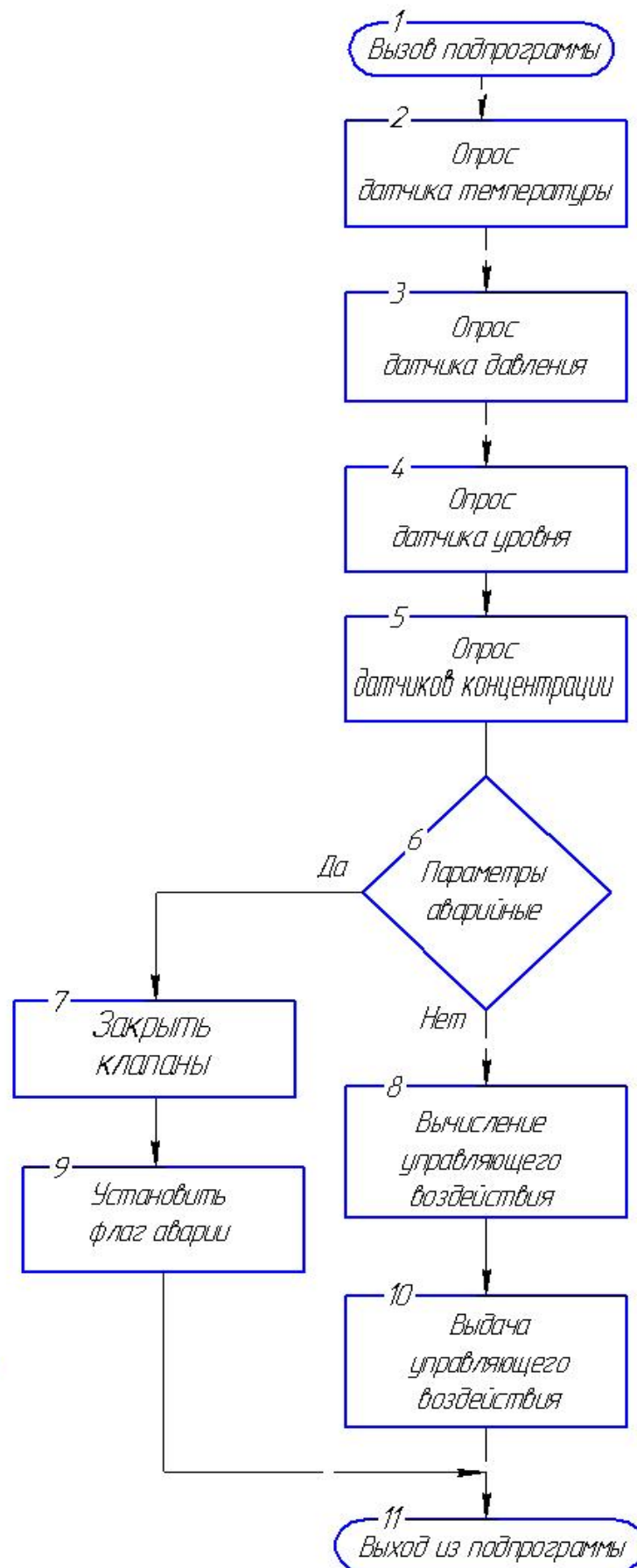


Рисунок 3.24 – Підпрограма управління реактором лужного Промивання

## 4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 4.1 Опис об'єкта моделювання

Технологічний процес приготування НКС (нітраційної кислої суміші) здійснюється в реакторі зі змішувачем та має сорочку для водяного охолодження. Від протікання цієї операції безпосередньо залежить якість нітробензолу та безпека всього технологічного процесу.

Об'єкт моделювання представляє (рис . 4.1) собою контур регулювання температури в реакторі подачею холодної води в сорочку реактора по трубопроводу з ємності. Трубопровід обладнаний регулюючим клапаном, виступає безпосереднім ОУ. Параметр управління - температура НКС на виході реактора, яка повинна дорівнювати 18°C.

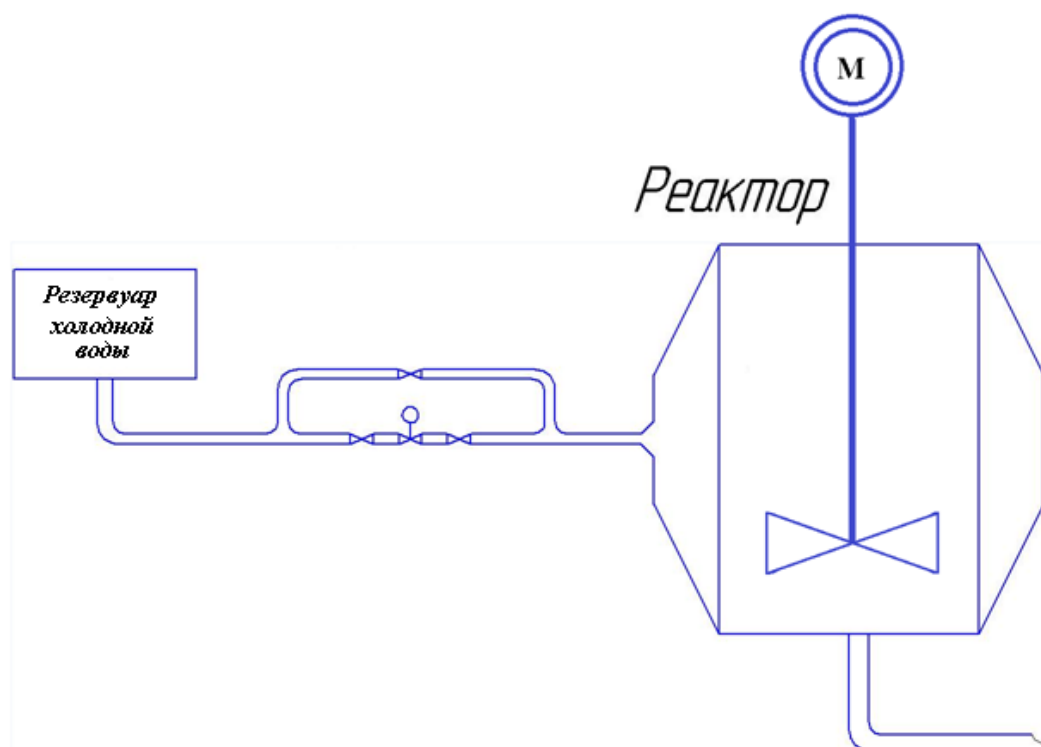


Рисунок 4.1 - Функціональна схема об'єкта моделювання

Вимоги до якості регулювання об'єкта управління:

- час перехідного процесу  $\leq 17$  с;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

СУЗ-51Ш 6.151.00.01.06.ПЗ

Лист
54

- перерегулювання  $\leq 35\%$ ;
- ступінь загасання перехідного процесу  $\Psi = 0,75$ .

#### 4.2 Отримання математичного опису об'єкта управління на основі експериментальних даних

Отримаємо передавальну функцію об'єкта управління на основі апроксимації кривої розгону (рис. 4.2), отриманої імперичним методом на цьому ОУ, з використанням методу Сімою.

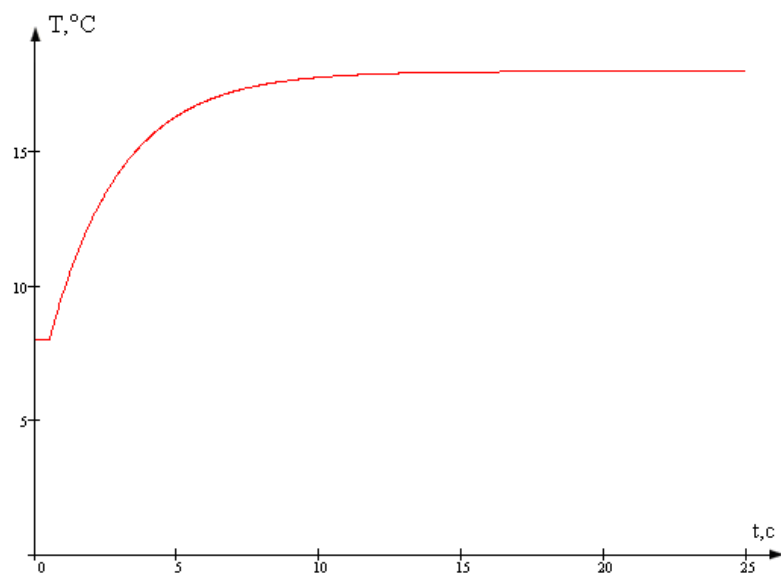


Рисунок 4.2 - Крива розгону ОУ

Пронормуємо цю криву розгону. Для цього потрібно від кожного значення вихідної величини відняти  $T(0) = 8^{\circ}\text{C}$  і поділити на 10 (рис. 4.3).

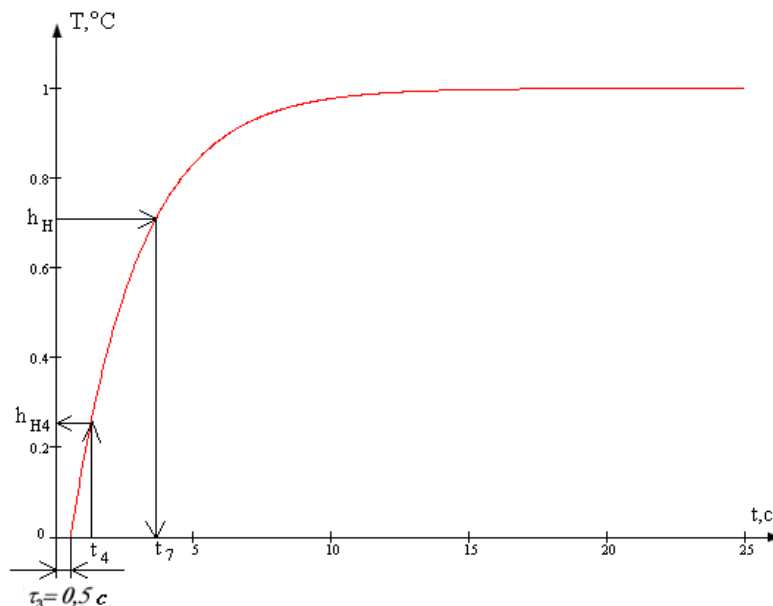


Рисунок 4.3 - Нормована крива розгону ОУ

Для визначення передавальної функції скористаємося методом Орманса [8].

«Це метод дозволяє за нормованою кривою розгону визначити дві домінуючі постійні об'єкта управління для моделі виду

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (4.1)$$

де  $\tau$ -транспортне запізнювання (визначається по кривій розгону).

Другий порядок передавальної функції (4-1) пояснюється видом кривої розгону об'єкта управління (рис. 4.3).

Отримання передавальної функції об'єкта управління виконується в такій послідовності:

- 1) з нормованою кривою розгону визначаємо час, відповідне значенню  $h_H = 0,7$  і позначаємо його  $t_7$ . З графіка (рис. 4.2) цей час становить 3,53 секунди;
- 2) отриманий інтервал ділимо на три частини. Піднімаємо перпендикуляр кривої розгону і визначаємо величину  $h_{H4}$ . За нашим графіком (рис. 4.2)  $h_{H4} = 0,24$ ;
- 3) постійні часу об'єкта управління  $T_1$  і  $T_2$  визначаються за допомогою допоміжної величини  $Z_2$ , для знаходження якої використовується номограма Орманса (рис. 4.4).»[9]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

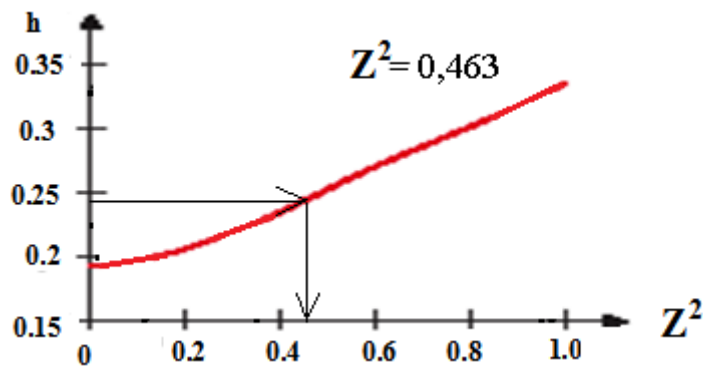


Рисунок 4.4 - Номограма Орманса

5) постійні часу об'єкта управління  $T_1$  і  $T_2$  визначаються за такими формулами:

$$T_1 = \frac{t_1}{2.4}(1+z) \quad (4.2a)$$

$$T_2 = \frac{t_1}{2.4}(1-z) \quad (4.26)$$

$$Z = \sqrt{Z^2} = \sqrt{0,463} = 0,68;$$

$$T_1 = 3,53(1 + 0,68) / 2,4 = 2,47 \text{ с};$$

$$T_2 = 3,53(1 - 0,68) / 2,4 = 0,047 \text{ с}.$$

Коефіцієнт посилення до визначаємо за формулою

$$K = \frac{Y_{уст}}{X}, \quad (4-3)$$

де  $Y_{уст}$  - встановлене значення вихідного параметра;

$X$  - значення вхідної величини (керуючого сигналу).

У нашому випадку нехай  $= 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (див. 4.1),  $X = \text{кгс} / \text{см}^2$  (одиничне ступінчасте вхідний вплив).

$$K = \frac{10^{\circ}\text{C}}{1\text{кгс}/\text{см}^2} = 10^{\circ}\text{C} \cdot \text{см}^2/\text{кгс}.$$

Так як  $T_1 > T_2$ , передавальна функція може бути представлена у вигляді

$$W(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau \cdot s}}{T \cdot s + 1} = \frac{10e^{-0,5s}}{2,47 \cdot s + 1}. \quad (4-4)$$

### 4.3 Перевірка адекватності моделі методом Фішера

Зробимо модель ОУ з його передавальною функцією (4-4) в MatLab (Simulink). Схема моделі зображена на малюнку 4.5.

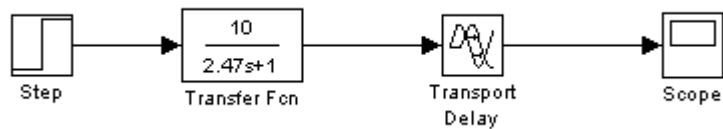


Рисунок 4.5 - Схема моделі досліджуваного об'єкта

При запуску отримаємо криву розгону (рис. 4.6).

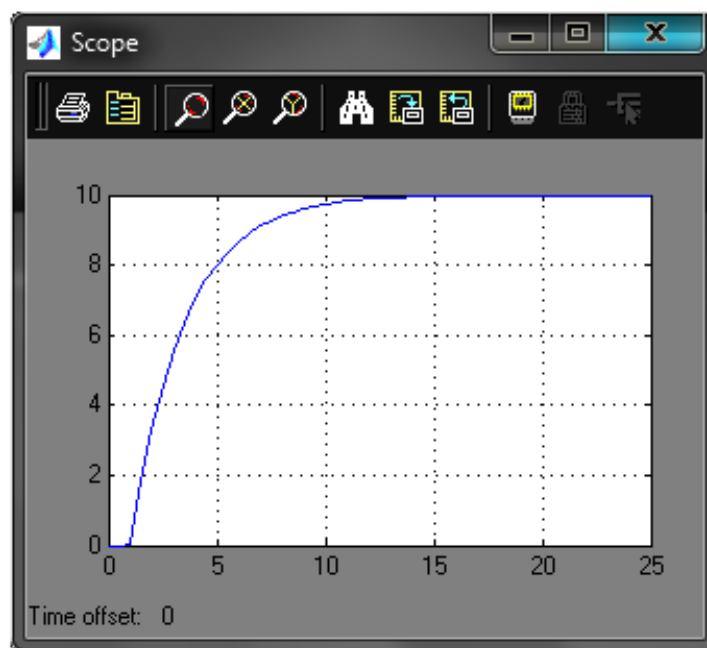


Рисунок 4.6 - Крива розгону ОУ, отримана в MatLab (Simulink)

Аналогічно другого пункту виконуємо нормування даної кривої розгону (рис. 4.7).



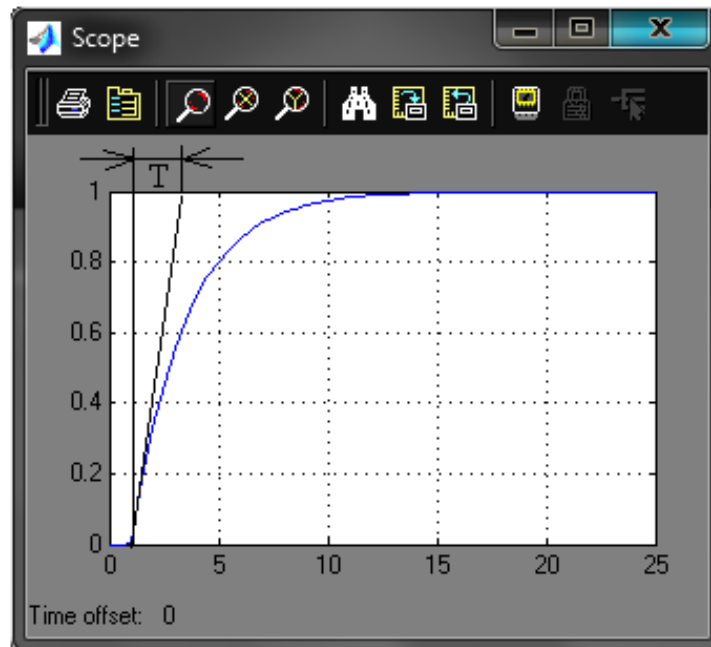


Рисунок 4.7 - Нормована крива розгону ОУ, отримана в MatLab (Simulink)

Отримана крива майже збігається з аналогічною з попереднього пункту (рис. 4.3), а отже, моделювання виконано правильно.

Аналізуючи перехідний процес, отримуємо наступні показники якості:

а) час перехідного процесу:

$$t_p = 3T = 3 \cdot 2,49 = 7,47 \text{ с;}$$

б) перерегулювання:

$$\sigma = \frac{h_{\max}(t) - h_{\text{уст}}(t)}{h_{\text{уст}}(t)} = \frac{1 - 1}{1} \cdot 100\% = 0\% \quad (4-5)$$

Область зміни  $t$  ділимо на 10 інтервалів. Визначаємо середнє значення для 10-ти точок на експериментальній кривій розгону (рис. 4.3), рівномірно розподілених по кривій і 10-ти точок при тих же моментах часу на кривій розгону, отриманої в MatLab (рис.4.7).

Для цих точок визначаємо мат. очікування (середнє значення  $\bar{Y}$ ) за формулою

$$\bar{Y}_{Y1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{1i} \quad (4.6a)$$

$$\bar{Y}_{Y2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{2i} \quad (4.6b)$$

де  $\bar{Y}_{Y1}$  - мат. очікування, отримане для експериментальної кривої розгону (рис. 4.3),

$\bar{Y}_{Y2}$  - мат. очікування, отримане для теоретичної кривої розгону (рис. 4.5).

$$\bar{Y}_{Y1} = \frac{0,08 + 0,2 + 0,36 + 0,56 + 0,68 + 0,8 + 0,86 + 0,9 + 0,964 + 0,996}{10} = 0,64$$

$$\bar{Y}_{Y2} = \frac{0,06 + 0,18 + 0,34 + 0,53 + 0,65 + 0,78 + 0,84 + 0,89 + 0,96 + 0,97}{10} = 0,62$$

Визначаємо оцінку дисперсії середнього для кожної вибірки

$$S_{Y1} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{Y}_{Y1} - y_i)^2 \quad (4.7a)$$

$$S_{Y2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{Y}_{Y2} - y_i)^2 \quad (4.7b)$$

$$S_{Y1} = \frac{(0,64 - 0,08)^2 + (0,64 - 0,2)^2 + (0,64 - 0,36)^2 + (0,64 - 0,56)^2 + (0,64 - 0,68)^2 + (0,64 - 0,8)^2 + (0,64 - 0,86)^2 + (0,64 - 0,9)^2 + (0,64 - 0,964)^2 + (0,64 - 0,996)^2}{10} = 0,107$$

$$S_{Y2} = \frac{(0,62 - 0,06)^2 + (0,62 - 0,18)^2 + (0,62 - 0,34)^2 + (0,62 - 0,53)^2 + (0,62 - 0,65)^2 + (0,62 - 0,78)^2 + (0,62 - 0,84)^2 + (0,62 - 0,89)^2 + (0,62 - 0,96)^2 + (0,62 - 0,97)^2}{10} = 0,109$$

Визначаємо відношення оцінок дисперсій, причому більша з отриманих оцінок дисперсій ділиться на меншу

$$\frac{S_{Y_{\text{большая}}}}{S_{Y_{\text{меньшая}}}} \quad (4.8)$$

$$\frac{S_{Y_{\text{большая}}}}{S_{Y_{\text{меньшая}}}} = \frac{0,109}{0,107} = 1,02$$

Порівнюючи результуюче значення зі значенням критерію Фішера, яке дорівнює 2,98, робимо висновок, що отримана модель адекватна ОУ, бо  $1,02 < 2,98$ .

#### 4.4 Синтез оптимального регулятора методом розширених частотних характеристик (методом Дуднікова)

Об'єкт являє собою послідовне з'єднання аперіодичної ланки першого порядку і ланки транспортного запізнювання, для яких відомі готові вирази для розширеної частотної характеристики. Таким чином АЧХ об'єкта управління має вигляд

$$W_o(m, \omega) = \frac{K e^{m\omega\tau}}{\sqrt{(1-Tm\omega)^2 + (T\omega)^2}} e^{j(-\arctg \frac{T}{Tm\omega-1} - \omega\tau)}. \quad (4-9)$$

Обираємо ПІ-регулятор, так як модель ОУ є інерційною із запізненням (див. [10]).

Розширена АФЧХ ПІ-регулятора з двома незалежними параметрами налаштування, яка описується передавальною функцією [10]

$$W_{\text{ПИ}}(s) = k_1 + \frac{1}{T_u s} = k_1 + \frac{k_0}{s}, \quad (4-10a)$$

відома з літературних джерел [Стефани]

$$W_{\text{ПИ}}(k_0, k_1, m, \omega) = \frac{\sqrt{(k_0 - m\omega k_1)^2 + (\omega k_1)^2}}{\omega \sqrt{m^2 + 1}} e^{j(-\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{\omega k_1}{k_0 - m\omega k_1} - \arctg m)} \quad (4-10b)$$

Складаємо рівняння балансу амплітуд і фаз

$$A_{\text{ПИ}}(k_0, k_1, m, \omega) = \frac{1}{A_0(m, \omega)} \quad (4-11a)$$

$$\Psi_{\text{ПИ}}(k_0, k_1, m, \omega) = \Psi_0(m, \omega) \quad (4-11b)$$

Для визначення параметрів настройки ПІ-регулятора і використовуємо співвідношення

$$\operatorname{Re}(W_p(m, j\omega)) = \operatorname{Re}(W_0^*(m, j\omega)) \quad (4-12a)$$

$$\operatorname{Im}(W_p(m, j\omega)) = \operatorname{Im}(W_0^*(m, j\omega)) \quad (4-12b)$$

де  $W_0^*(m, j\omega)$  - зворотна (інверсна) розширена АФЧХ.

«Таким чином, представивши вираз розширеної АФЧХ ПІ-регулятора  $W_{III}(k_0, k_1, \omega)$  в алгебраїчній формі і підставивши його у вищенаведений вираз, отримаємо параметричний вираз рівняння лінії Рівного загасання (ЛРЗ) як функції частоти

$$k_0(\omega) = \omega(m^2 + 1) \operatorname{Im}(W_0^*(m, j\omega)) \quad (4-13a)$$

$$k_1(\omega) = m \operatorname{Im}(W_0^*(m, j\omega)) - \operatorname{Re}(W_0^*(m, j\omega)) \quad (4-13б)$$

Для оцінки діапазону робочих частот побудуємо розширену ФЧХ об'єкта управління в логарифмічному масштабі (рис. 4.8) і проведемо на ній лінії паралельні осі частот, відповідних виконанню умови балансу фаз для п-регулятора і і-регулятора. Перетин цих прямих з кривою АЧХ дає мінімальне і максимальне значення діапазону робочих частот.»[10]

$$m := 0.221 \quad T := 2.47 \quad \tau := 0.5$$

$$\psi_i(\omega) := -90 + \operatorname{atan}\left(\frac{1}{m}\right) \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\psi_o(\omega) := -\operatorname{atan}(T \cdot \omega) \cdot \frac{180}{\pi} + \left(-\tau \cdot \omega \cdot \frac{180}{\pi}\right)$$

$$\psi_p(\omega) := -180$$

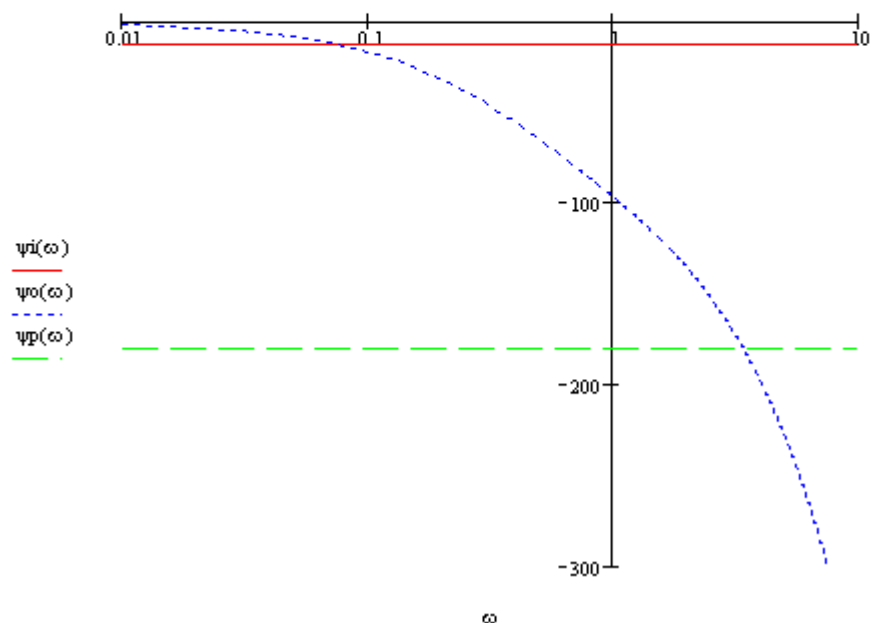


Рисунок 4.8 - Вибір діапазону робочих частот

У знайденому діапазоні робочих частот  $\omega_r = 0,08 - 3$  Гц будуємо відповідно до виразу (4.13) ЛРЗ для даного значення  $\psi = 0,75$ , якому відповідає показник коливальності  $m = 0,221$  (рис. 4.9).

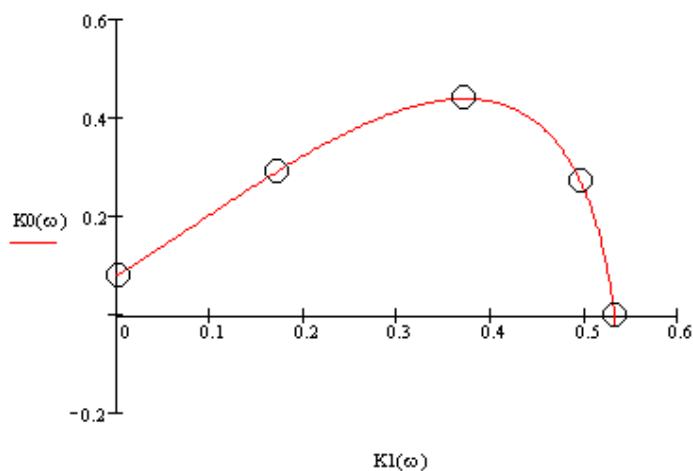


Рисунок 4.9 - Лінії рівного загасання в робочому діапазоні частот

Для визначення оптимальної настройки для п'яти точок, взятих на лінії Рівного загасання, визначаємо значення налаштувань ПІ-регулятора, і для них проводимо моделювання. Результати моделювання представлено на малюнку 4.10, а налаштування та показники якості приведені в таблиці 4.1.

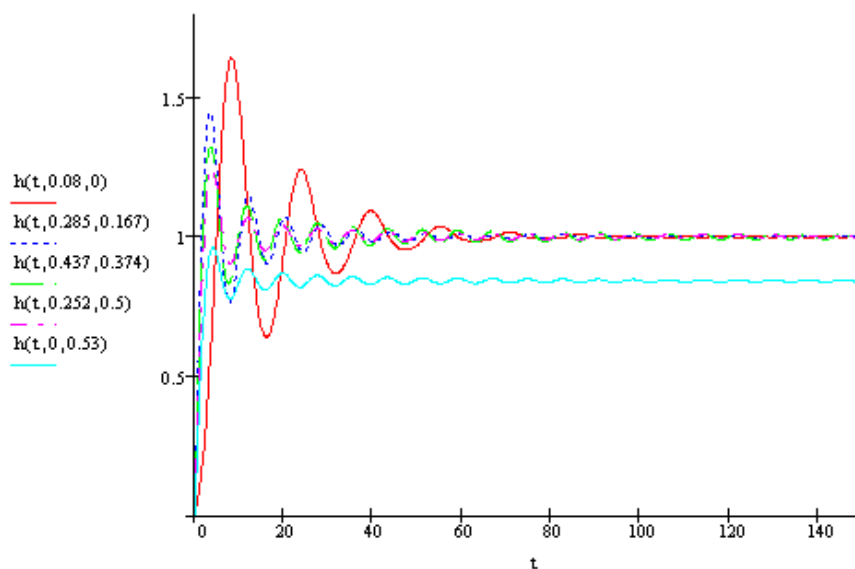


Рисунок 4.10 - Результати моделювання при налаштуваннях ПІ-регулятора, отриманих методом РАФЧХ

Таблиця 4.1 - Показник якості

№	$k_0$	$k_1$	$t_p, c$	$\sigma, \%$
1	0,08	0	41,7	56
2	0,285	0,167	25,6	49
3	0,437	0,374	24,1	48
4	0,252	0,5	16,7	33
5	0	0,53	9,3	10

При застосуванні П регулятора для статичного ОУ ми отримуємо статичну систему, що має при заданому ступені загасання велику статичну помилку.

Четверта крива задовільняє заданим показникам якості перехідного процесу, тому ми і вибираємо саме такі налаштування регулятора-синтез виконаний успішно.

#### 4.5 Моделювання системи управління в математичному пакеті MatLab (Simulink)

Схема моделювання системи управління в математичному пакеті MatLab (Simulink) представлена на малюнку 4.11.

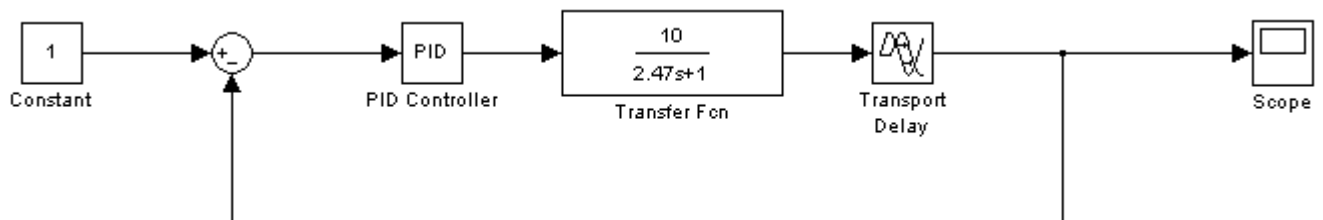


Рисунок 4.11 - Схема моделювання системи управління

Перехідний процес в даній системі має вигляд, зображений на малюнку 4.12.

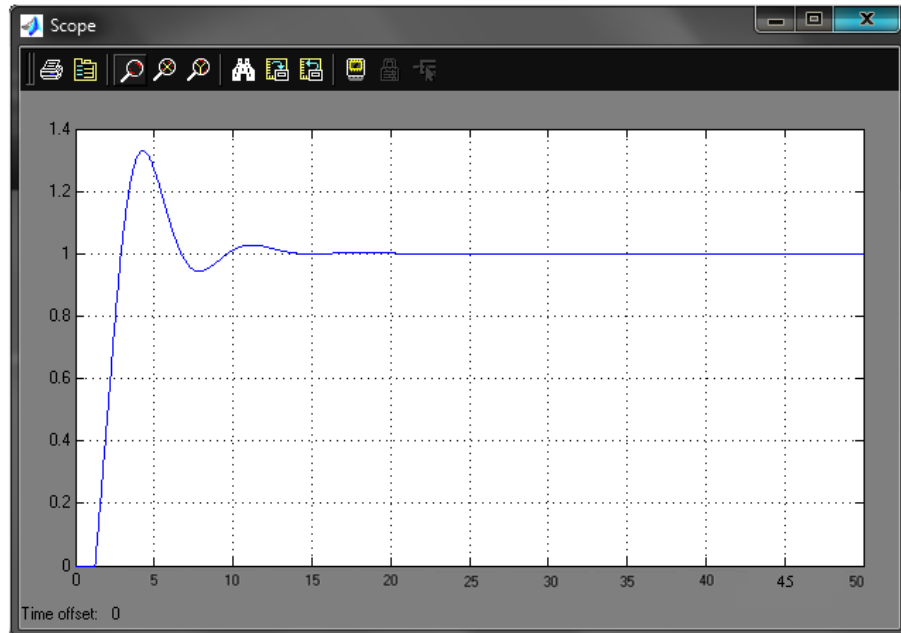


Рисунок 4.12 - Перехідний процес в системі

Аналізуючи перехідний процес, отримуємо наступні показники якості:

а) час перехідного процесу:

$$t_p = 16,8 \text{ с};$$

б) перерегулювання:

$$\sigma = \frac{h_{\max}(t) - h_{\text{ycm}}(t)}{h_{\text{ycm}}(t)} = \frac{1,34 - 1}{1} \cdot 100\% = 34\%.$$

Отримані показники збігаються з аналогічними з попереднього пункту, а отже, моделювання виконано правильно.



## ВИСНОВКИ

На підставі технічного завдання розроблено інформаційне та технічне забезпечення системи автоматизації.

Система являє собою 2-х рівневу АСУ ТП, до складу якої входять:

- датчики, встановлені безпосередньо на технологічному обладнанні;
- виконавчі органи, які відпрацьовують отриманий від контролера вплив;
- контролер, який виконує первинну обробку даних отриманих від датчиків, видає керуючий вплив для регулюючих органів.

Використання сучасних методів управління технологічним процесом, а також новітніх технічних засобів автоматизації в подальшому дасть можливість реалізувати якісно нову технологію управління і підвищити ефективність виробництва, що приве-дет до:

- підвищенню якості продукції, що випускається;
- зниженню витрат сировинних та енергетичних ресурсів за деякими став-ям витрат на ТП;
- підвищення обсягу продукції, що випускається;
- скорочення простоїв із-за неполадок;
- збільшення міжремонтних термінів роботи обладнання;
- використовувати мінімальну кількість працівників, необхідних для підтримки ТП в робочому стані і ліквідації аварійних ситуацій.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Яковлева З. И. Технология нефтехимических производств / З. И. Яковлева, В. А. Асикаева, М. С. Хрипунова та ін; ред. И. А. Нечаев. Издательство «Химия», 1968. – 352 с.
2. Автоматизация технологических процессов / Л. И. Селевцов А. Л. Селевцов. Издательство «Академия», 2014. – 352 с.
3. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов. Инструктивные материалы. Для студентов специальности 7.091401 "Компьютеризованные системы управления и автоматики". - Сумы.: СумГУ, 1998. – 77 с.
4. Khan M.I., Serajul Haque, Manufacturing Science, New Delhi-110001, 2016, pp.562  
WR\_Industrial\_Robots\_2017\_Chapter\_1
5. Основы автоматизации производств нефтегазохимического комплекса / К. А. Карпов. Издательство «Лань», 2016. – 108 с.
6. Сайт компании «Овен»: [www.owen.ru](http://www.owen.ru).
7. Сайт компании SIEMENS: [www.simens.com](http://www.simens.com).
8. Теория автоматического регулирования. / А. С. Востриков Издательство «Юрайт» 2016. – 279 с.
9. Ключев А. С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А. С. Ключев, Б. В. Глазов, А. Х. Дубровский, А. А. Ключев. Издательство «Альянс» 2016. – 394 с.
10. Shimon Y. Nof Springer Science & Business Media, 2014 , pp. 1812
11. Методичні вказівки з оформлення графічної частини конструкторської документації проектів автоматизації. Структурні, функціональні та принципові схеми / укладач О.Ю. Журавльов. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006. – 48с.